TÉCNICA

REVISTA DE ENGENHARIA
DOS ALUNOS DO I.S.T.

N.º 137 - Abril - 1943

CIMENTO

SECIL

Fabricado pelos mais modernos processos e preferido para todos os trabalhos de responsabilidade.
Sacos de papel ou de juta com 50 Kg.
Barricas de 180 Kg.

S E C I L

COMPANHIA GERAL DE CAL E CIMENTO
RUA DO COMERCIO, 56, 3.º
LISBOA

Granulados de mármores
para exportação e para o país

Mosaicos de granulados de mármore

OS MAIS BONITOS
OS MAIS RESISTENTES
OS MAIS VANTAJOSOS

Soc. Portuguesa CADAN

Rua D. Estefania, 42
Telefone 47812 — Lisboa

FILIAL NO PÔRTO:
PRAÇA DA BATALHA, 90, 2.º

Cimento «Liz» hidrofugado «N»

PRÓPRIO PARA
IMPERMEABILIZAÇÃO DE OBRAS
REBOCOS, FUNDAÇÕES, PAREDES, ETC.

Substitue com vantagem de ordem técnica e económica todos os impermeabilizadores conhecidos.

Em sacos de papel de 50 quilos

Peçam instruções para o seu emprêgo

Sede: Rua do Cais de Santarém, 64, 1.º — LISBOA
Filial: Rua de Santo António, 190-A, 1.º — PORTO

Agentes em todo o País

NÚMERO
137
Abril — 1943

TÉCNICA

REVISTA DE ENGENHARIA
DOS
ALUNOS DO INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO
Redacção e Administração: AV. ROVISCO PAIS, IST / LISBOA-N. / TEL. 49144 (linha 50)

DIRECTOR
LUIZ DE ALMEIDA ALVES
ADMINISTRADOR
JOSÉ DE LUCENA
BIBLIOTECÁRIO
FAUSTO GONÇALVES HENRIQUES
CORPO REDACTORIAL
Fernando Moitinho de Almeida
Henrique Dias Barracas
José Carlos Pinheiro da Silva
Manuel dos Santos Rézio

NÚMERO AVULSO 5$00

ASSINATURAS:

	3 N.os	6 N.os	12 N.os
Continente e Ilhas	13$50	26$00	50$00
Colónias Portuguesas e Espanha...	—	35$00	60$00
Estrangeiro...	—	40$00	70$00

EDITOR E PROPRIETARIO
ASS. DOS ALUNOS DO I. S. T.

COMPOSTO E IMPRESSO
NAS
OFICINAS FERNANDES
RUA CRUZ DOS POIAIS, 103
LISBOA

SUMÁRIO

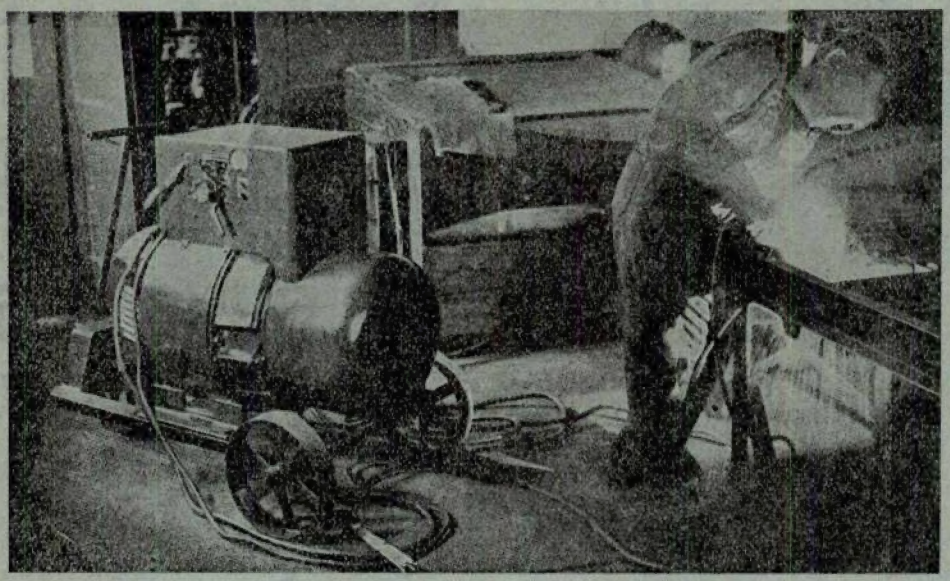
CAPA — Bôlsa despejando a gusa em fusão, na instalação Basset da Fábrica Tejo.

		Págs.
A Antena do Emissor Regional do Norte	Eng.º Electr. João de Lacerda	257
Corrosão do ferro e dos metais ferrosos sob a acção das correntes eléctricas no solo	Dr. Artur de Sousa	266
A Nova Estação Marítima de Alcântara	Eng.º Civil Tomaz de Sousa Eiró	276
Bombas centrífugas	Acácio Pereira Amaro	283
Problema acústico do gimnásio do Instituto Superior Técnico	António Hidalgo Barata	297
Pontos Modelos do Exame de Aptidão		307
Do Mundo Técnico		312
Publicações recebidas		316

STABILO
STABILO
STABILO
STABILO
STABILO
SCHWAN
Bleistift-Fabrik A-G.
NÜRNBERG
Representante:
A. Ferreira da Silva, Porto.
Rua Alexandre Braga, 82. Tel. 6132
Lápis de desenho
em 18 graduações 7 B — 9 H
Lápis de côr
O utensílio precioso em 24 côres
Novidade: STABILO Cellomin D. R. P.
O lápis-tinta com a mina especial
resistente às influências climáticas

GENERAL ELECTRIC

Schenectady, N. Y.



Instalação de soldadura eléctrica com grupo rotativo

Motores e dínamos. Alternadores. Transformadores. Aparelhos para alta e baixa tensão. Centrais termo e hidroeléctricas. Instalações para melhorar o factor potência. Tracção eléctrica. Máquinas, Transformadores e Electrodos para soldadure eléctrica. Fornos eléctricos. Automotoras eléctricas e Diesel-Eléctricas. Turbinas de vapor. Aparelhos de iluminação. Instrumentos de medida. Condutores eléctricos. Electrificação de fábricas. Comandos eléctricos especiais para fábricas téxteis, fábricas de papel, etc. Máquinas frigoríficas. Emissores e receptores para T. S. F. Aparelhagem de Electro-Medicina. Instalações de Som.

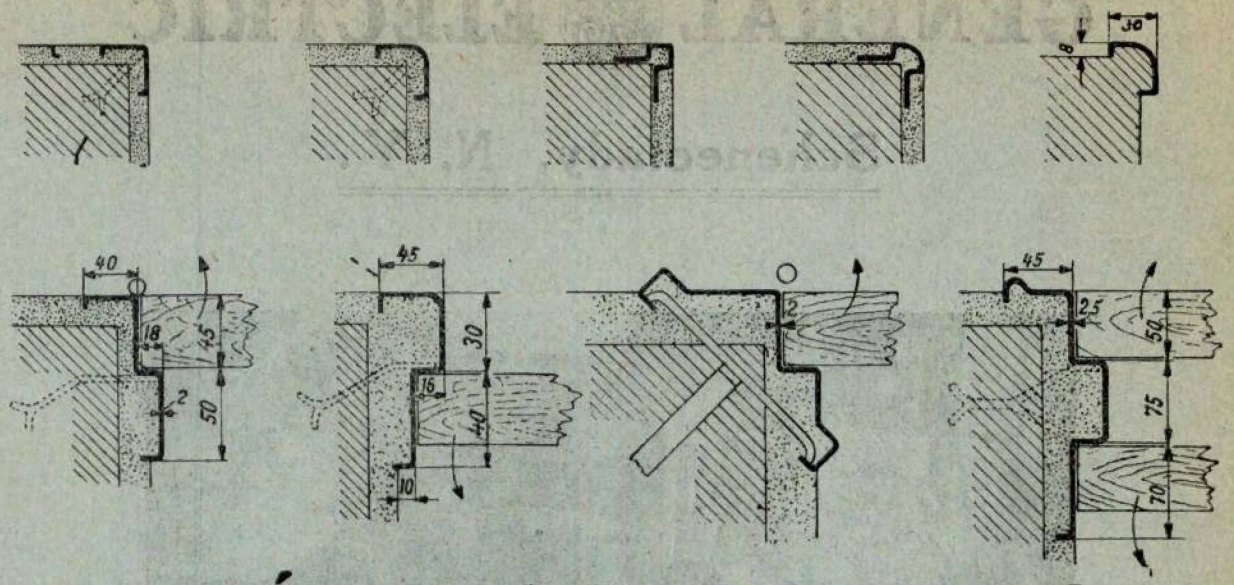
THOMSON
GENERAL ELECTRIC

Portuguesa, L.da

LISBOA
Rua do Norte, 5

Telef. 28135-28136

ALGUNS EXEMPLOS DOS PERFIS QUE SE PODEM REALIZAR



LISBOA **FÁBRICA PORTUGAL**

FABRICAÇÃO DE PERFIS DE CHAPA PARA TODOS OS GENEROS DE TRABALHO DE CONSTRUÇÃO CIVIL

UMA REVOLUÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Sondages. Etanchements. Consolidations "Procédés Ródio"

Sondagens geológicas

Estudo da resistência e permeabilidade de terrenos; laboratório geofísico

Consolidação e impermeabilização de terrenos e alvenarias por meio de injecções de cimento, produtos químicos, emulsão betuminosa Shellperm, etc.

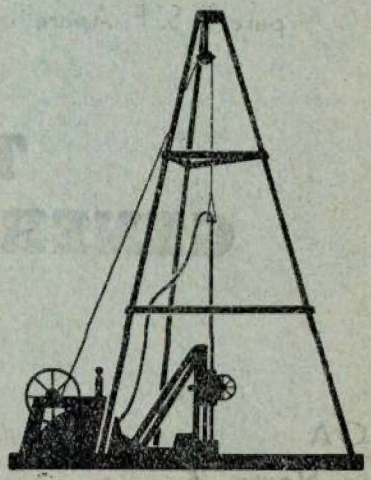
Estacas de beton armado, sistema **Ródio** sem fazer trepidar o solo

Rebocos comprimidos por «cement gun»

Fundações em terrenos difíceis por congelação artificial, ou baixando o nível da água friática.

Sociedade Anónima com séde em PARIS

As melhores referências no paiz e no estrangeiro



Engenheiro delegado para Portugal

Walter Weyermann

P. do Município, 32-2.º--LISBOA Tel. 2 8685

TÉCNICA
LUIZ DE ALMEIDA ALVES
DIRECTOR

ANO XVIII - N.º 137 ABRIL 1943

A Antena do Emissor Regional do Norte

PELO ENG. ELECTR. (I. S. T.) JOÃO DE LACERDA

(Conclusão)

IV — Estudo dum radiador vertical com tôpo capacitivo

Princípios teóricos

O estudo teórico das antenas e em especial das verticais, tendo recebido grandes aperfeiçoamentos nos últimos dez anos, chegou a um estado em que os valores previstos pelo cálculo, concordam com os achados por via experimental, dentro dos limites de precisão da aparelhagem empregada. Podemos distinguir três passos na evolução dêsses estudos:

1.º — Método da altura efectiva — foi a primeira tentativa para um ataque matemático do problema e consistia em substituir a antena, cuja distribuïção de corrente era mais ou menos sinusoidal, por outra tendo uma corrente uniforme e altura tal, que produzisse um campo igual ao da primeira, no plano horizontal.

O método é muito grosseiro e nunca conduziu a resultados de interêsse.

2.º — Aplicar à antena as equações da propagação duma onda de corrente ao longo dum condutor, tratando-a como se fôsse uma linha de transmissão aberta no extremo e sem perdas. Êste método é já uma aproximação bastante grande da realidade, mas salta imediatamente à vista o seu ponto fraco — não havendo perdas não há radiação, o que é um absurdo.

Encarada doutro ponto de vista, esta concepção consiste em admitir que a corrente varia ao longo da antena segundo uma lei sinusoidal, o que não é verdade mas é bastante aproximado quando o radiador é de secção uniforme.

É um método perfeitamente satisfatório para o cálculo de diagramas verticais de radiação e de tôpos capacitivos e por isso empregá-lo-emos para estes fins.

3.º — Tratar a antena como uma linha de transmissão carregada num ponto conveniente, pela resistência de radiação.

Êste método é um aperfeiçoamento do anterior e conduz a resultados condizentes com os achados experimentalmente. Exige o conhecimento da resistência de radiação e, como é mais complexo, não o empregaremos senão onde o outro dá resultados inaceitáveis — isto é, no cálculo da impedância na base.

Fazendo as hipóteses indicadas no 2.º método chega-se às seguintes expressões:

$$Z_x = \frac{Z_2 \cosh \gamma x + Z_0 \operatorname{senh} \gamma x}{\frac{Z_2}{Z_0} \operatorname{senh} \gamma x + \cosh \gamma x} \quad \ldots . 1$$

em que

Z_x — impedância num ponto à distância x do tôpo
Z_2 — impedância concentrada colocada no tôpo
Z_0 — impedância característica do condutor
γ — constante de propagação no condutor

A tensão à distância x do tôpo é

$$e_x = e_b \frac{Z_2 \cosh \gamma x + Z_0 \operatorname{senh} \gamma x}{Z_2 \cosh \gamma y + Z_0 \operatorname{senh} \gamma y} \quad \ldots 2$$

em que

e_b — tensão na base
y — altura do condutor desde a base até ao tôpo

A corrente no mesmo ponto será

$$i_x = e_b \frac{\frac{Z_2}{Z_0} \operatorname{senh} \gamma x + \cosh \gamma x}{Z_2 \cosh \gamma y + Z_0 \operatorname{senh} \gamma y} \quad \ldots 3$$

A expressão 1 mostra que, para um dado condutor, a impedância que se obtém na base é função da impedância que se coloca no tôpo e que a variação desta, fornece-nos um meio de variarmos aquela. Mas há outro aspecto não menos importante — a variação da impedância Z_2 permite também escolher a porção da onda de corrente que fica contida no condutor vertical. Com efeito, se não colocarmos impedância alguma no tôpo, teremos lá fatalmente um nulo de corrente e, em princípio, por uma escolha apropriada de Z_2, poderemos ter qualquer outro valor até a um ventre de corrente. Esta possibilidade de variar a distribuïção da corrente ao longo da antena, isto é, de escolher a porção da onda de corrente que se contém nela, permite-nos variar a forma do diagrama vertical de radiação, forma esta que é importantíssima como mostrámos na primeira parte dêste estudo.

Antes de mostrarmos como se acha o diagrama vertical de radiação, convém-nos determinar o valor de Z_2 para os dois casos de distribuïção de corrente que, por conduzirem a expressões analíticas simples, considerámos neste estudo. Estes dois casos estão representados por *a* e *b* na fig. 7. O primeiro é uma distribuïção tal, que as correntes na base e no tôpo são iguais; o segundo é uma distribuïção com um nulo na base.

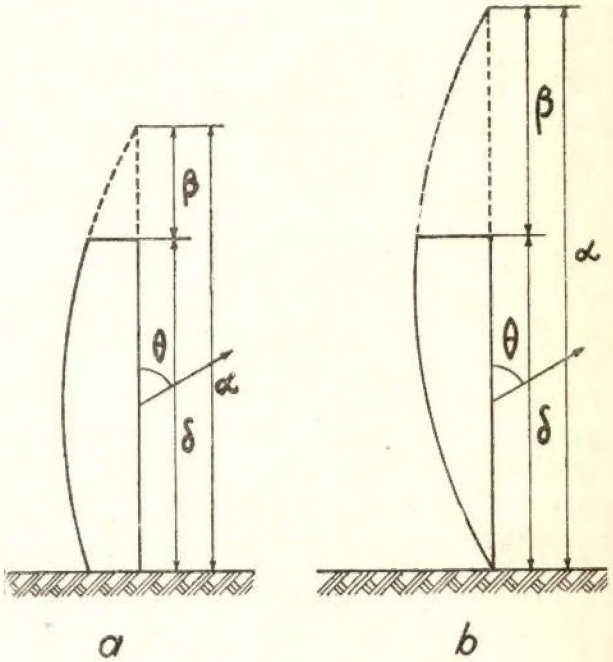


Fig. 7

Êste 2.º caso foi há anos largamente estudado (P. I. R. E. Dez. 1934) e o seu autor esperava um grande aumento do rendimento de radiação por a corrente junto à tomada de terra ser nula e conseqüentemente a perda ohmica também o ser; contudo Brown demonstrou pouco depois que a melhoria era desprezível. Não é porém a melhoria do rendimento que nos interessa em primeiro lugar, ao estudar êste caso, assim como o outro, mas sim a possibilidade de obter diagramas verticais de radiação, só realizáveis com antenas bastante mais altas.

Caso a

Tomando a expressão (3) e escrevendo a condição de igualdade das correntes na base e no tôpo, acha-se por uma transformação conveniente

$$Z_2 = -Z_0 \operatorname{tgh} \frac{\gamma y}{2}$$

que se pode escrever, designando por δ a altura da antena em graus eléctricos e atendendo a que γ é um imaginário puro por termos desprezado a resistência

$$Z_2 = -j Z_0 \operatorname{tg} \frac{\delta}{2} \quad \ldots\ldots \quad 4$$

é êste o valor da impedância que se terá que colocar no tôpo para obter a distribuïção de corrente indicada.

Caso b

A partir da expressão (3) impondo-lhe a condição de ser nula na base acharíamos

$$Z_2 = -j Z_0 \cot \delta \quad \ldots\ldots\ldots \quad 5$$

Vejamos agora como se pode realizar na prática esta impedância Z_2. Notemos desde já que, pelo facto de termos desprezado a resistência dos condutores, Z_2 aparece-nos (4 e 5) como uma simples reactância, cujo sinal dependerá de δ visto que Z_0 é sempre positivo.

A realização de Z_2 tem-se feito até hoje de dois modos mecânicamente distintos, mas não elèctricamente diferentes — um, aplicável a tôrres radiantes, consiste em seccionar a tôrre a uma altura conveniente, isolar elèctricamente as duas partes e ligá-las por uma inductância apropriada. O tôpo isolado funciona como uma capacidade em relação à terra e com a inductância que o liga a parte inferior da tôrre constitue a impedância Z_2 que será dada por

$$Z_2 = j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right) \quad \ldots\ldots \quad 6$$

é uma solução que pouco economiza na altura da tôrre, mecânicamente tem uma realização complicada e por isso está abandonada.

A solução que hoje se adopta consiste em colocar no tôpo da tôrre uma espécie de para-sol cuja capacidade em relação à terra constitue Z_2 (fig. 8-a) e que pode ter ou não, uma inductância em série, consoante o valor necessário.

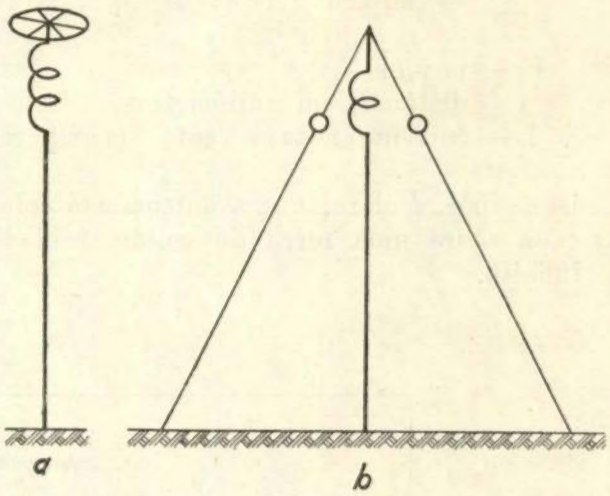


Fig. 8

Em tôrres espiadas, uma solução mais simples consiste em utilizar a parte terminal das espias para formar Z_2 (fig. 8 b) — é a solução adoptada na antena do novo emissor de 50 kw, em instalação no Ribatejo.

Como mostram as expressões 4 e 5, Z_2 é função da altura da antena e da sua impedância característica. Esta impedância para radiadores de secção constante pode ser achada (P. I. R. E. Jun. 1937) pelas seguintes expressões

$$Z_0 = K_1 + K_2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad 7$$

$$K_1 = 138 \log_{10} \frac{h}{\rho} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 8$$

$$K_2 = -\left(60 + 69 \log_{10} \frac{2h}{\lambda}\right) \quad \ldots \quad 9$$

h — altura da antena

ρ — raio da antena

λ — comprimento de onda

Traçado dos diagramas verticais de radiação

O campo radiado por uma antena vertical (fig. 7) numa direcção θ, admitindo uma distribuïção sinusoidal da corrente, é dado por

$$F_\theta = \frac{60\, I_0}{r \operatorname{sen} \theta} [\cos \alpha - \cos \beta \cos (\delta \cos \theta) + \operatorname{sen} \beta \cos \theta \operatorname{sen} (\delta \cos \theta)] \quad \ldots 10$$

F_θ — m v/m
r — distância em quilómetros
I_0 — corrente eficaz no ventre em ampères

isto supõe, é claro, que a antena está colocada sôbre uma terra de conductividade infinita.

Antena de 40 m

Temos os seguintes dados

$$\delta = \frac{360 \times h}{\lambda} = \frac{360 \times 40}{2\ 2} = 68^\circ$$

$$\beta = 0$$

$$\alpha = \delta$$

entrando com estes valores em (10) achámos F_θ para valores de θ de 10° em 10° com os quais traçamos o diagrama da fig. 9 e pelo qual se vê que esta altura de antena é insuficiente para se obter o diagrama que demonstrámos necessário (0,25 λ). Êste resultado era evidente visto tratar-se duma antena simples com uma altura inferior a 1/4 de onda.

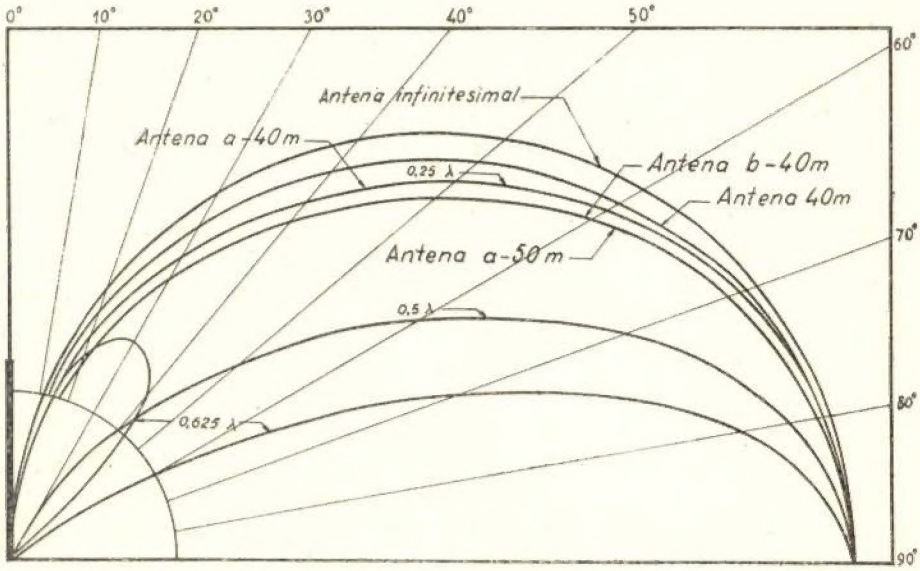


Fig. 9

Para o traçado do diagrama vertical de radiação as constantes $60\, I_0$ e r não interessam, como é óbvio.

Passemos agora a considerar alguns casos concretos de antenas de várias alturas que designaremos por *a* ou *b* consoante a distribuïção de corrente admitida (fig. 7) e sem letra nenhuma no caso da antena simples sem tôpo capacitivo.

Antena a — 40 m

Os dados são agora

$$\delta = 68^\circ$$

$$\beta = 90 - \frac{\delta}{2} = 56^\circ$$

$$\alpha = \beta + \delta = 124^\circ$$

e variando θ de 10 em 10° obtemos um diagrama que coincide com o de 0,25 λ (fig. 9). É, como dissemos na primeira parte dêste estudo, o mínimo necessário, mas, por razões de segurança, será conveniente ir um pouco mais além.

Antena b — 40 m

$$\delta = 68^\circ$$
$$\alpha = 180^\circ$$
$$\beta = \alpha - \delta = 112^\circ$$

procedendo anàlogamente encontramos o diagrama indicado (fig. 9) e que se pode considerar como satisfatório.

Antena a — 50 m

Apesar do diagrama anterior satisfazer já o fim em vista, vamos, por razões que mais adiante desenvolveremos, considerar ainda esta antena. Não vale a pena tratar o caso da antena simples de 50 m porque o diagrama desta deve coincidir com o de 0,25 λ.

Temos então:

$$\delta = 85^\circ$$
$$\beta = 90 - \frac{\delta}{2} = 47^\circ,5$$
$$\alpha = \beta + \delta = 132^\circ,5$$

O diagrama nestas condições vem pràticamente coincidir com o da antena b — 40 m — é portanto uma solução que também satisfaz perfeitamente.

Cálculo do tôpo capacitivo

A impedância a colocar no tôpo é como vimos função da impedância característica e esta por sua vez, depende da geometria da antena.

Suponhamos que é possível construí-la com tubos de ferro — e dizemos possível porque nas actuais circunstâncias do mercado é tudo incerto — com um diâmetro de 200 mm.

No caso da antena b — 40 m as equações (7), (8) e (9), dão

$$K_1 = 361$$
$$K_2 = -31$$
$$Z_0 = 330\ \Omega$$

e portanto (5) dá

$$Z_2 = -j\ Z_0 \cot \delta =$$
$$= -j\ 330 \cot 68^\circ = -j\ 133\ \Omega$$

precisamos pois colocar no tôpo uma capacidade que o 1411 kc/s dê aquela reactância, ou seja

$$C = \frac{1}{2\pi f Z_2} = \frac{1}{2\pi\, 1{,}411 \times 133} = 0{,}000850\ \mu F$$

O diâmetro dum disco que colocado no tôpo desse esta capacidade pode ser calculada pela fórmula

$$d = \frac{C}{0{,}354} = \frac{850}{0{,}354} = 2400\ \text{cm}$$

valor êste que não é realizável com facilidade, havendo a acrescentar ainda que a fórmula é válida para um disco e não para um conjunto de raios mais ou menos apertados para as quais é preciso aumentar ainda mais d. É claro que no caso de se adoptar a solução da fig. 8 b estes valores já eram aceitáveis se não fôsse a proximidade do outro mastro que deve ficar afastado apenas cêrca de 27 m.

Poderíamos reduzir d, desde que introduzíssemos em série com a capacidade um enrolamento de inductância apropriada como mostra a expressão (6) embora se não possa marchar muito nesta direcção porque há determinadas proporções entre C e L das quais não nos devemos afastar. Contudo no caso presente, é perfeitamente possível reduzir d à ordem dos 6 m e obter a impedância necessária por meio dum enrolamento em série. O único inconveniente desta solução é a complicação de montagem que acarreta. Com efeito, seria preciso arranjar no ex-

tremo do mastro uma protecção onde o enrolamento estivesse abrigado da intempérie e além disso, o tôpo capacitivo teria que ser prêso ao mastro de modo que ficasse elèctricamente isolado dêste. Não é impossível e têm-se feito bastantes assim, mas é complicado.

Examinemos agora a hipótese da antena a — 50 m. Temos

$$K_1 = 138 \log \frac{50}{0,1} = 138 \times 2,699 = 372,5$$

$$K_2 = -\left(60 + 69 \log \frac{100}{212}\right) = -37,5$$

$$Z_0 = 372,5 - 37,5 = 334\ \Omega$$

e agora a reactância a colocar no tôpo é dada por (4)

$$Z_2 = -j\ 334 \text{ tg } 42^\circ,5 = -j\ 305\ \Omega$$

a capacidade que dá esta reactância é

$$C = \frac{1}{2\pi . 1,411 \times 305} = 370\ \mu\mu F$$

e portanto

$$d = \frac{370}{0,354} = 1050 \text{ cm} = 10,5 \text{ m}$$

Como se vê obtemos umas dimensões perfeitamente realizáveis e com as seguintes vantagens sôbre o caso da antena b — 40 m:

1.ª — É necessário apenas um tôpo capacitivo que fica elèctricamente ligado ao mastro.

2.ª — O diagrama obtido coincide com achatamento máximo (fig. 9) que se pode obter com uma antena de 40 m e portanto têm ainda margem para se achatar mais, passando para o caso b, se a experiência o indicar.

Se não fôr possível realizar a antena com tubos de ferro e se tiver que se adoptar uma estrutura triangulada as condições alteram-se.

Suponhamos que se consegue neste caso um raio de 0,5 m. Teremos

$$K_1 = 138 \log \frac{50}{0,5} = 276$$

$$K_2 = -37,5$$

$$Z_0 = 238,5\ \Omega$$

e acharíamos

$$d = 13,4 \text{ m}$$

é uma dimensão ainda aceitável, mas como se vê não convém que o mastro tenha um diâmetro maior que aquele valor e o ideal mesmo, era construí-lo com um tubo de pequena secção. Em contrapartida o mastro armado tem a vantagem de fornecer um alojamento fácil a um enrolamento que se queira empregar em série com a capacidade terminal, o que permite reduzir o diâmetro do tôpo capacitivo.

Só um estudo mecânico e económico poderá em última análise indicar a solução a adoptar. Em qualquer hipótese não será conveniente, como mostrámos, descer abaixo dos 50 m.

Tensão na base

A determinação da tensão na base é de importância capital para o desenho do isolador que deve sustentar a antena e isolá-la da terra.

Como se sabe uma antena vertical pode ser alimentada de dois modos designados por série (fig. 10 a) e shunt (fig. 10 b) que sob o ponto de vista do campo radiado são equivalentes.

No caso (a) a f.e.m. de alimentação é ligada em série com a antena; no caso (b) a antena é arranjada em auto-transformador — a f.e.m. excita o primário a b d e a antena tôda constitui o secundário a b c, sendo a b a parte comum ao primário e secundário.

Êste dispositivo usa-se hoje pouco, mas tem a vantagem de dispensar o isolador da base pois a antena é ligada directamente à terra.

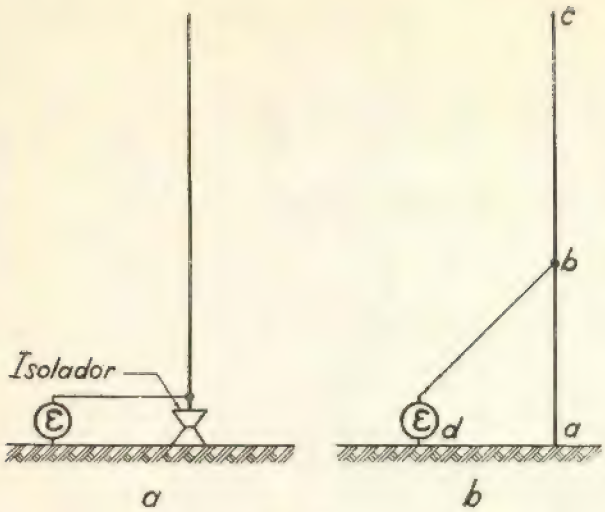


Fig. 10

Porém, no caso da antena do Pôrto não é possível empregar a alimentação shunt porque a afinação do sistema dos dois radiadores exige medidas eléctricas em que cada um dêles tem que estar alternadamente isolado da terra.

Temos por isso que conhecer qual a tensão que se vai desenvolver na base da antena quando ela fôr alimentada pelos 10 kW do emissor. O método de cálculo que vamos empregar é o 3.º que indicámos no comêço dêste trabalho e conduz às seguintes expressões:

$$R_b = Z_0 \frac{n(1+\cot^2\delta)}{n^2+\cot^2\delta} \quad \ldots . 11$$

$$X_b = -Z_0 \frac{(n^2-1)\cot\delta}{n^2+\cot^2\delta} \quad \ldots . 12$$

em que R_b e X_b são as componentes resistiva e reactiva na base da antena e $n = \frac{Z_0}{R_r}$ sendo R_r a resistência de radiação referida ao ventre de corrente. Os valores desta resistência são dados pela curva da fig. 1 com aproximação suficiente, isto é, com um êrro que poderá, no tipo de antena que nos interessa, ir a 2 % por defeito, como mostra um estudo mais complexo do que aquele que serviu de base à referida curva. Devemos contudo notar que para alturas inferiores a $^1/_4$ de onda a curva está mais errada e por isso tomámos nesses casos valores devidamente corrigidos.

As expressões (11) e (12) supõem que a antena não tem tôpo capacitivo e portanto temos que as adaptar ao nosso caso introduzindo as seguintes correcções:

1.ª — Em vez de δ tomaremos α.

2.ª — A resistência de radiação não pode ser tomada como a correspondente a uma antena cuja altura fôsse α porque o tôpo capacitivo não irradia pràticamente nada.

Temos que corrigir R_r e vamos fazê-lo por um processo que nos parece aceitável.

Seja R a resistência de radiação referida ao ventre, correspondente à altura α, r a correspondente à altura β mas referida à base, e I_0 a corrente no ventre para a altura α (fig. 11).

A potência total radiada por uma antena de altura α seria RI_0^2

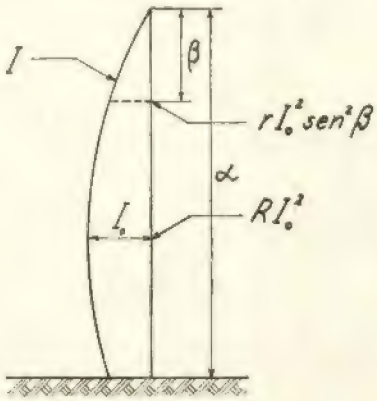


Fig. 11

A potência radiada pela parte terminal β seria $r\,I_0^2\,sen^2\,\beta$ visto que, admitindo uma distribuïção sinusoidal, a corrente na base da porção β vale $I_0\,sen\,\beta$. A potência radiada por uma antena que tenha um tôpo capacitivo correspondente à posição β, será a diferença das duas e portanto

$$P = RI_2^0 - r\,I_0^2\,sen^2\,\beta = R_r\,I_0^2$$

donde

$$R_r = R - r\,sen^2\,\beta$$

Notando que a curva da fig. 1 dá a resistência de radiação referida à base, para altu-

ras inferiores a 0,25 λ e que daí em diante, dá a resistência de radiação referida ao ventre, obtemos dela directamente R e r pois no nosso caso é $\beta = 47^{\circ},5$. Temos então

$$R_r = 90 - 9 \text{ sen}^2 47^{\circ},5 = 85\,\Omega$$

Dispomos agora de todos os elementos para calcular a impedância nos dois casos que nos interessam.

a) *Antena tubular*

Neste caso era como vimos $Z_0 = 334\,\Omega$ e portanto

$$n = \frac{Z_0}{R_r} = \frac{334}{85} = 3{,}92$$

$$\cot \alpha = \cot 132^{\circ},5 = -0{,}916$$

aplicando estes valores em (11) e (12) achamos

$$R_b = 334 \frac{3{,}92\,(1 + 0{,}916^2)}{3{,}92^2 + 0{,}916^2} = 148{,}5\,\Omega$$

$$X_b = -334 \frac{(3{,}92^2 - 1)\,(-0{,}916)}{3{,}92^2 + 0{,}916^2} = 270\,\Omega$$

a impedância na base será

$$Z = 148{,}5 + j\,270$$

para a potência de 10 kw teremos uma corrente de

$$I = \sqrt{\frac{P}{R}} = \sqrt{\frac{10.000}{148{,}5}} = 8{,}25 \text{ A}$$

a que corresponde uma tensão de

$$V = I\sqrt{R^2 + X^2} =$$

$$= 8{,}25\sqrt{148{,}5^2 + 270^2} = 2540 \text{ V}$$

e nos picos de modulação a 100 % teremos

$$V_{max} = 2{,}82 \times 2540 = 7200 \text{ V}$$

b) *Antena triangulada*

Nesta hipótese a impedância característica será cêrca de 238,5 Ω e portanto

$$n = \frac{Z_0}{R_r} = \frac{238{,}5}{85} = 2{,}80$$

e substituindo em (11) e (12) obtemos

$$R_b = 142\,\Omega$$

$$X_b = 172\,\Omega$$

$$Z = 142 + j\,172$$

$$I = \sqrt{\frac{P}{R}} = \sqrt{\frac{10\,000}{142}} = 8{,}4 \text{ A}$$

$$V = I\sqrt{R^2 + X^2} = 1875 \text{ v}$$

$$V_{max} = 2{,}82 \times 1875 = 5300 \text{ v}$$

Vemos que a antena tubular é a que exige do isolador da base um maior esfôrço eléctrico, embora uma menor fadiga mecânica.

Pelo circuito eléctrico equivalente (fig. 12) vê-se que o isolador da base é uma capacidade em derivação sôbre a antena, através da qual convém que haja uma corrente mínima, para que as perdas também sejam mínimas.

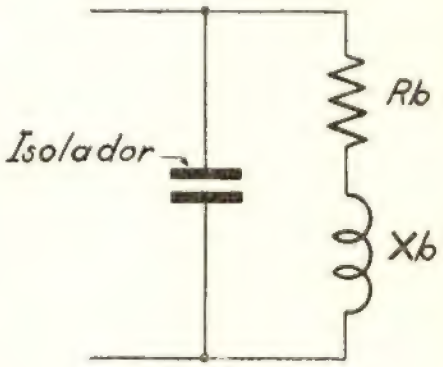


Fig. 12

Deve pois o isolador ter um desenho que lhe dê a menor capacidade possível a ser ensaiado a uma tensão que podemos determinar pela regra da Comissão Electrotécnica Internacional, ou seja

$$V_e = 2\,V_t + 10\,000$$

como a tensão de trabalho será 7200 v, teremos

$$V_e = 2 \times 7200 + 10\,000 = 24400 \text{ volts}$$

e atendendo ainda a que o isolador será instalado num local perto do mar, poderemos arredondar o número para 30 000 V.

Falta-nos agora determinar a tensão nos extremos das espias que formarão o tôpo capacitivo, afim de se escolherem os respectivos isoladores.

Admitindo uma distribuição sinusoidal da tensão ao longo da antena, hipótese que é suficiente para êste fim, e notando no caso em questão teremos um nulo a meia altura, será

$$V \text{ sen } 42^{\circ},5 = 7200$$

e portanto

$$V = \frac{7200}{\text{sen } 42^{\circ},5} = \frac{7200}{0,675} = 10650 \text{ volts}$$

A tensão de ensaio dêste isolador será

$$V_e = 2 \times 10\,650 + 10\,000 = 31\,300 \text{ volts}$$

valor que poderemos arredondar para os 40 000 v.

Na hipótese da tôrre armada êste número é menor, assim como o correspondente ao isolador da base. Haverá ainda neste caso que calcular o enrolamento que é introduzido em série com o tôpo capacitivo, isto é, determinar a indutância necessária e a tensão que terá que suportar nos extremos, problema que se resolve sem dificuldade.

Podemos agora para terminar, resumir as condições a que devem satisfazer a antena, o isolador da base e os isoladores das espias capacitivas.

Antena

a) altura 50 m;
b) tubular ou armada;
c) se fôr armada, ter secção constante e um raio mínimo, com quatro montantes para dar maior número de espias à cabeça.

Isolador da base

a) tensão de trabalho — 7.200 V;
b) tensão de ensáio — 30.000 V;
c) capacidade mínima;
d) esfôrço mecânico a determinar, depois de feito o projecto definitivo da antena.

Isoladores das espias capacitivas

a) tensão de trabalho — 10.650 V;
b) tensão de ensaio — 40.000 V;
c) esfôrço mecânico a determinar, depois de feito o projecto definitivo da antena.

As tensões referentes aos isoladores são menores no caso da tôrre armada, como já observámos.

Seguia-se agora o V Capítulo do projecto, ou seja o desenho da rêde de ligação do emissor ao sistema radiante, mas é um estudo que não vale a pena realizar-se, sem estar de posse, por medidas directas, das características eléctricas dos radiadores. Deixaremos portanto esta parte em suspenso, aguardando a instalação das antenas no local de funcionamento.

Corrosão do ferro e dos metais ferrosos sob a acção das correntes eléctricas no solo [1]

POR DR. ARTUR DE SOUSA

Introdução

Nas experiências cujos resultados vamos expor, propomo-nos estudar no laboratório os modos de corrosão do ferro e dos metais ferrosos sob a acção das correntes eléctricas no solo. Conhecem-se duas variedades destas: as correntes geradas expontâneamente no solo e as correntes vagabundas.

Poldini [2], em um estudo consagrado às correntes expontâneamente geradas no solo, explica a sua existência e o modo da sua geração nos seguintes termos: «Quando se mede em campo raso, por meio dum dispositivo apropriado, a diferença do potencial eléctrico entre dois pontos do solo relativamente vizinhos, nota-se, em geral, que ela é fraca, da ordem de alguns milivolts sôbre o comprimento duma centena de metros. No entanto, às vezes observam-se quedas de tensão anormais assaz bruscas, que podem atingir a ordem do volt sôbre 100 metros. O solo é, portanto, séde de fôrças electromotrizes que se manifestam expontâneamente e às quais evidentemente correspondem derramamentos de corrente. São múltiplas as causas das correntes geradas; bastaria a causa muito geral de que todos os desequilíbrios da crosta terrestre, sejam êles magnéticos, químicos ou mecânicos, produzem fôrças electromotrizes para justificar esta afirmação. Está estabelecido que algumas das causas são cósmicas (erupções solares), ao passo que outras, mais locais, provém simplesmente de fenómenos assaz superficiais, tais como a electro-capilaridade, a circulação das águas, e evaporação, a oxidação dos minerais, etc.»

Os efeitos destruïdores das correntes espontâneamente geradas no solo são muito inferiores aos das correntes vagabundas que se produzem entre os aparelhos geradores e consumidores que têm um dos bornes ligado à terra. Estas últimas são principalmente provocadas nas rêdes dos carros eléctricos ou dos caminhos de ferro (alimentados por corrente contínua) e desempenham um papel importante na corrosão dos metais. Encontram-se [3] diferenças de potencial, que podem atingir até 40 volts, entre as condutas subterrâneas da água e do gás e os carris dos carros eléctricos. Tais diferenças de potencial dão origem a fenómenos de electrolise e de transporte de metal, donde resultam perfurações dos canos e destruïções importantes das peças metálicas existentes na zona destas correntes vagabundas. Quando se considera o total dos desgastes que dêstes factos resultam, compreende-se bem quanto êste problema prende a atenção dos engenheiros e dos químicos.

O escopo das nossas investigações era obter dados de ordem qualitativa e é por isso que não será aqui dado nenhum valor numérico referente a algumas centenas de ensaios feitos com o fim de explicar o modo de ataque.

Numerosas experiências permitiram com-

---

(1) Trabalho apresentado à Academia das Ciências de Lisboa, aos 21 de Julho de 1938.

(2) Memóires de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles Vol. 6, N.º 1, 1938.

(3) Corrosione dei metalli «Sapere» 30 Set. 1937, Milão.

parar os diferentes resultados qualitativos obtidos e salientar os seus aspectos característicos. Elas foram feitas em condições que imitam, tanto quanto foi possível, os fenómenos naturais, procurando interpretar os seus resultados como se os factos se tivessem dado no solo.

Não se procedeu a medidas de precisão porque a corrosão é um fenómeno muito complexo: depende ela duma série de factores, tais como a composição química do ferro ou dos metais ferrosos, a constituïção física ou as modificações físicas sofridas anteriormente pelo metal (esforços mecânicos, térmicos, etc.), assim como a constituïção do meio corrodente (grandeza das partículas, pH, umidade, conductibilidade eléctrica, etc.). Do conjunto destas condições depende entre outros fenómenos o potencial metal-solução. Existem, além disso, fenómenos secundários: efeitos termo-eléctricos e potenciais de contacto proveniente da heterogeneidade das diferentes porções do sistema metal-solução, ou das próprias partes do metal. É muito difícil, se não impossível, tomar em conta esta série de factores e notar os seus efeitos. É por isso que êste estudo é puramente qualitativo.

Os resultados que damos no fim desta comunicação são gerais e podem-se aplicar a quási tôdas as amostras de ferro ou de metais ferrosos assim como ao conjunto metal-terra. Teria sido melhorado êste trabalho com dados numéricos? Não, porque seria muito difícil reconstituir estas experiências obtendo os mesmos resultados quantitativos. É com efeito difícil obter ferro ou metais ferrosos que tenham sempre a mesma composição química e a mesma constituïção física, ou que tenham passado pelos mesmos estados físicos como as amostras utilizadas no decurso das nossas experiências. As mesmas dificuldades se apresentariam com as diferentes variedades de terra utilizada.

Contudo, esperamos que as nossas investigações possam contribuir para o estudo do ataque do ferro e dos metais ferrosos pela acção das correntes vagabundas e, por conseguinte, do fenómeno tão importante da corrosão.

Generalidades

a) *Considerações sôbre a conductibilidade do solo.*

Mostram as nossas experiências sôbre a acção das correntes no solo, que se pode considerar a terra sêca como um condutor de muito grande resistência cuja variação depende de numerosas causas. Como o solo é geralmente úmido, encontram-se sempre nele iões de tôdas as espécies, e é por isso que êle desempenha ao mesmo tempo a função de condutor e de electrólito.

É por causa desta última propriedade que há nêle transporte de iões e se dá o ataque do metal na terra. Não sendo esta última homogénea na sua composição química, e na sua constituïção física, o transporte dos iões não se faz nela nas mesmas condições em tôdas as direcções, o que produz desigualdades nos fenómenos da corrosão.

Nas teorias que expomos neste trabalho, fizemos abstracção completa da condutância do solo, pois ela não intervém no mecanismo da corrosão. Pelo contrário, ligamos tôda a importância às propriedades electrolíticas do terreno. A-fim de simplificar a matéria, não consideraremos senão os iões metálicos e os iões hidrogénio e hidróxilo.

b) *Ensaios preliminares.*

Nestes ensaios fez-se uso do método coloroscópico para localizar visìvelmente as regiões atacadas e as não atacadas das amostras de ferro. Eis um resumo dêste processo: Quando se coloca um pedaço de ferro numa massa de gelatina adicionada de algumas gotas de fenolftaleína, vêem-se aparecer, nos pontos não atacados, superfícies vivamente coradas (reacção alcalina das regiões negativas). Para pôr em evidência as partes onde se dá a corrosão (regiões positivas), Walker [4] junta à gelatina, além da fenolftaleína, algumas gotas de ferrocia-

[4] J. Amer. Chem. Soc. 29 p. 1257 (1909)

neto de potássio. Com esta adição as partes atacadas tomam uma forte côr azul de Turnbull, ao passo que as não atacadas se coram de vermelho. Êste reagente combinado, conhecido sob o nome de «Ferroxil», permite observar visível e simultâneamente a formação dos iões hidroxilo e ferroso. Segundo Cushman e Gardner(5) êle é preparado com um caldo aquoso de 1/2 % de agar-agar fervido durante uma hora e filtrado, a que se juntam enquanto ainda quente, 2 cc. de fenolftaleína por cada 100 cc. Se o reagente assim obtido não fôr neutro neutraliza-se pela adição de algumas gotas de KOH déci-normal ou de HCl diluído. Por fim, antes de a temperatura baixar, juntam-se ainda 7 cc. dum soluto de ferricianeto de potássio a 1 %. Vasa-se então uma delgada camada num vidro de Petri, que se resfria até à solidificação da massa gelatinosa, e sôbre esta coloca-se uma amostra. Vasa-se depois uma nova camada de soluto tépido de modo a cobrir os pedaços de ferro. Êste método tem a vantagem de permitir a conservação durante meses, das amostras submetidas ao estudo. Notemos de passagem que existe um outro reagente descrito por Goldowski (6) que pode ser utilizado para conhecer a polaridade do ferro assim como o pH das diferentes regiões.

Nas nossas experiências as amostras de ferro, pulidas e desengorduradas com alcool foram submetidas não sòmente à acção do «Ferroxil», *mas também à acção da corrente eléctrica*. Os dispositivos experimentais (fig. 1) consistem em uma montagem compreendendo uma bateria duma dezena de volts, posta em série com um conjunto de recipientes, que são vidros de Petri, contendo cada um um pedaço de ferro imerso na massa gelatinosa adicionada de «Ferroxil».

Após alguns minutos de passagem da corrente, nota-se nas amostras a aparição duma coloração azulada do lado que olha para o cátodo, ao passo que os polos negativos, tanto os próprios cátodos como as extremidades que olham para os ánodos, se coram de vermelho. Trata-se neste caso dum fenómeno de polarização. Se a acção da corrente se prolongar durante algumas horas, verifica-se que sòmente as extremidades das amostras são atacadas, tomando o aspecto duma bola azul carregada. Qualquer que seja a forma da bola, do ferro ou do aço utilizados, o resultado observado foi sempre o mesmo.

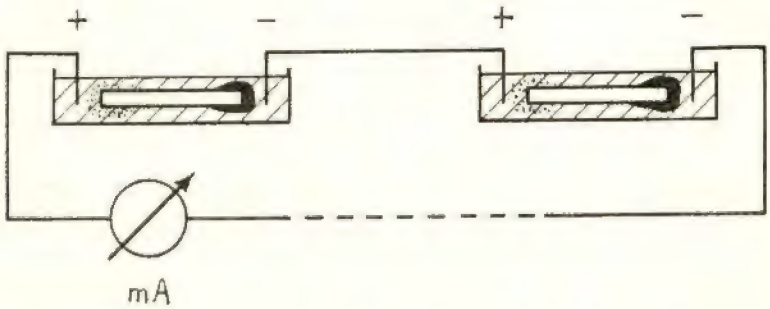


Fig. 1

A resistência do circuito sendo muito grande (10.000 a 100.000 ohms), uma pilha de 10 volts debita, no começo da experiência, uma corrente da ordem de 1 a 10 miliampères. Escusado dizer que os electrodos se polarizam e dão origem a bolhas de gás. Isto tem como resultado um aumento da resistência, e esta é a razão por que, ao fim de algumas horas, a corrente tende para

(5) Corrosion and Preservation of Iron & Steel, New York.

(6) Korrosion und Metallschutz N.º 45, p. 128 (1937).

zero. Para remediar êste inconveniente convém aumentar constantemente a diferença de potencial aplicado aos electrodos.

Fig. 2

É interessante notar que apesar da fraca intensidade da corrente, se realiza o transporte dos iões e se nota duma maneira muito nítida a repartição da acção corrosiva. Damos acima (fig. 2) a reprodução duma fotografia obtida num ensaio preliminar por nós feito antes de começar o estudo pròpriamente dito da corrosão na terra.

c) *Técnica das experiências feitas na terra.*

As amostras de ferro, de forma paralelepipédica, são cuidadosamente polidas e desengorduradas sôbre tôdas as suas facetas e depois colocadas por meio de pinças (afim de evitar o contacto das mãos) no fundo duma cuva de cristalização que tem os electródos fixados nos seus bordos opostos.

As amostras de ferro devem estar no eixo dos electrodos, em relação aos quais elas são orientadas no sentido paralelo ou perpendicular [7] (Figuras 3 a e 3 b). O recipiente é enchido de variedades de terras escolhidas dantemão e os electrodos são ligados à fonte da corrente. Nesta altura, um mili-amperómetro intercalado no circuito (Fig. 4) indica uma corrente da ordem do miliampere. Logo que se introduz a água na terra, a corrente atinge 10 a 20 mA. Cada experiência durou cêrca de 100 horas e a corrente não ultrapassou 10 mA. A quantidade da electricidade debitada foi, por conseguinte, de cêrca de 1 coulomb.

No fim da experiência a amostra é lavada em água corrente afim de remover o excedente da terra. Observa-se então invarià-

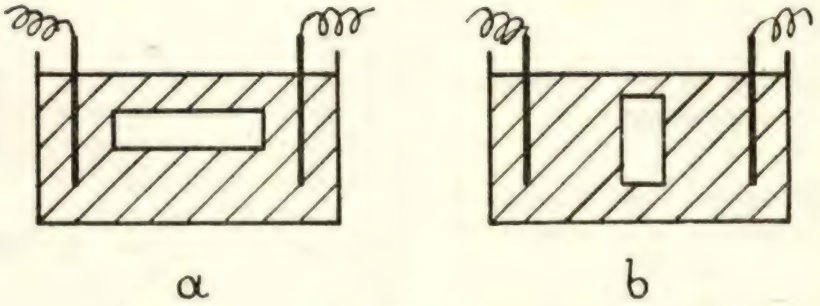


Fig. 3

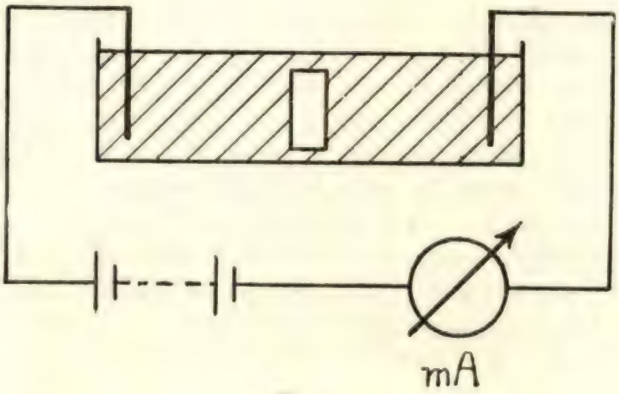


Fig. 4

(7) As nossas experiências foram feitas nas duas posições. Os ensaios são mais demonstrativos no caso *b* (ver figura 3).

velmente que uma das faces foi atacada, aderindo-lhe terra aglomerada com ferrugem, enquanto a face oposta permanece intacta, embora às vezes apresente ligeiros traços de oxidação. Os 3 esboços que damos abaixo indicam como se realiza o ataque, conforme a posição da amostra em relação aos electrodos.

Para ensaios comparativos, põem-se em série varios recipientes contendo amostras nos diversos meios (terra diferente, pH do meio diferente, etc.). Êste modo de proceder tem a vantagem de submeter tôdas as amostras de ferro às mesmas variações da corrente durante a mesma duração de tempo.

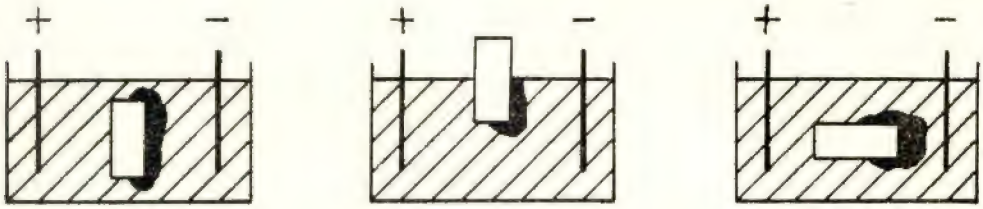


Fig. 5

O mecanismo do ataque do ferro sob a acção duma corrente eléctrica

Quando se mergulha, num soluto ou meio contendo um electrólito, um pedaço de metal, êle põe em liberdade iões nesse soluto. É baseando-se nesta teoria de Helmholtz [8] e de Nernst [9], aplicável a todos os metais, que Whitney [10] provou a sua teoria da corrosão electrolítica. Segundo êste autor, a corrosão seria uma função do potencial metal-solução. Eis a sua explicação: quando se imerge um pedaço de ferro num soluto contendo iões hidrogénio, o ferro passa em solução dando origem a iões ferroso Fe^{++}. Êste fenómeno é muitas vezes invisível, pois o hidrogénio liberado nem sempre aparece sob a forma de bôlhas o que é devido à grande solubilidade e ao grande poder de difusão dêste gás. As duas equações iónicas indicadas em baixo resumem o que acabamos de dizer.

$$Fe \longrightarrow Fe^{++} + 2\,\Theta \text{ (11)}$$

$$2H^{+} + 2\,\Theta \longrightarrow H_2 \nearrow$$

Ainda que nós mergulhemos um pedaço de ferro num meio neutro, como a água distilada, do mesmo modo se dão as reacções precedentes. É sabido que a mais pura água contém 1 grama de iões hidrogénio por 10 milhões de litros do seu volume. As cargas negativas livres vão neutralizar as cargas positivas dos iões hidrogénio para dar hidrogénio nascente. Há que notar que o oxigénio da água não intervém neste mecanismo; pois que não existem na água iões $O^{=}$, mas sim iões OH^{-}. São estes últimos que, combinando-se com os iões Fe^{++}, dão origem a um composto intermediário $Fe(OH)_2$ da ferrugem, porque esta resulta da oxidação de $Fe(OH)_2$ pelo ar, que dá o oxido férrico Fe_2O_3, produto final da corrosão, que se chama ferrugem.

Pode-se resumir o mecanismo da sua formação nas 5 equações seguintes:

$$\text{I} \qquad H_2O \longrightarrow H^{+} + OH^{-}$$

$$\text{II} \qquad Fe \longrightarrow Fe^{++} + 2\,\Theta$$

De I e II deduz-se:

$$\text{III} \qquad Fe + 2H_2O \rightleftarrows Fe^{++} + 2OH^{-} + 2H^{+} + 2\,\Theta$$

$$\text{IV} \qquad Fe^{++} + 2OH^{-} + 2H^{+} + 2\,\Theta \longrightarrow Fe(OH)_2 + H_2 \nearrow$$

(8) Wied. Ann. *31* 89 (1899).
(9) Z. phys. Chem. *4* 129 (1899).
(10) J. Amer. Chem. Soc. 25 297 (1903).

(11) O sinal Θ representa uma carga negativa.

V $2\,Fe(OH)_2 + \frac{1}{2}O_2 \longrightarrow Fe_2O_3 + 2H_2O$

Resulta daí, pois, que a corrosão não depende do oxigénio da água, como se admitia há muito tempo, mas sómente da concentração dos iões hidrogénio, ou, conforme a terminologia corrente nos nossos dias, a corrosão é função do pH do meio. É fácil deduzir daí que as substâncias que aumentam a concentração dos iões hidrogénio, activam a corrosão, pois elas diminuem o pH do meio, como fazem os ácidos e as misturas dos ácidos com sais; pelo contrário, as substâncias que aumentam a concentração dos iões OH, e, por conseguinte, o pH do meio, impedem a corrosão. Segundo Gardner e Cushman([12]), a tensão de dissolução do ferro não é igual em tôdas as partes do metal. Esta irregularidade provém da sua heterogeneidade, do meio ambiente e do conjunto metal-solução. Os pontos de tensão máxima serão electro-positivos em relação aos pontos em que ela é mínima. Uma corrente circulará se estes pontos forem postos em contacto por uma camada condutora. Quando esta camada é formada pela água, quanto maior fôr a conductibilidade eléctrica, mais depressa o ferro passará em solução nas regiões electro-positivas, onde a corrosão será mais activa.

Tendo esboçado o mecanismo geral da corrosão, resta saber como o processo acima descrito se modifica sob a influência duma corrente eléctrica produzida por dois electrodos mergulhados no meio em que se encontra o ferro.

Tomamos um recipiente R (Figura 6) contendo dois electrodos de platina ligados a uma bateria P, um soluto *neutro* ou simplesmente água e um pedaço de ferro polido. A água está dissociada em iões H e OH. Sabe-se que os iões H, carregados positivamente, se dirigem para o cátodo, ao passo que os iões OH, carregados negativamente, vão para o ánodo. Consideremos o pedaço de ferro e o meio ambiente, assim como o deslocamento dos iões H e OH: o ferro passa em solução e dá origem a iões ferrosos carregados positivamente; esta liberação de iões realiza-se sôbre tôdas as partes da superfície do metal se êste fôr homogénio. Os iões OH, carregados negativamente vão neutralizar a carga dos iões ferrosos e formar moléculas de hidrato ferroso ou ferrugem. Resulta daí que a parte do ferro que olha para o cátodo, que chamaremos A, ficará oxidada.

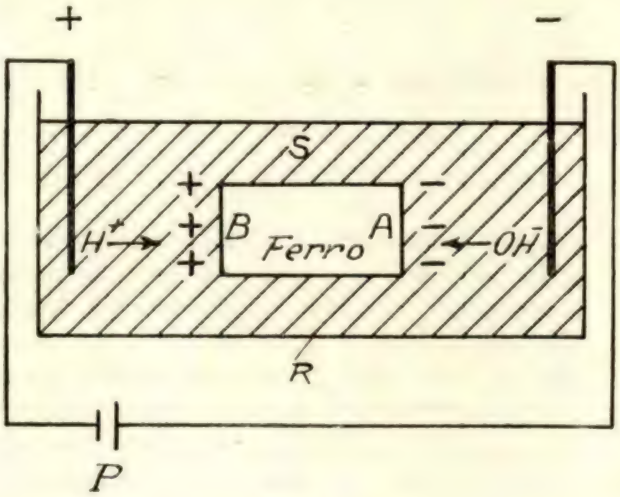


Fig. 6

Que se passa na parte B, situada do lado oposto? Os iões H, carregados positivamente dirigem-se para o cátodo e comunicam a sua carga positiva ao ferro, provocando a libertação de hidrogénio. As cargas negativas, postas em liberdade por tôda a superfície do metal, vão ser atraídas pela parte B, que retomará o seu estado neutro. Êste facto explica por que êste lado do ferro fica incólume ao passo que se dá a corrosão do outro lado. Tudo decorre, pois, como se o único efeito da corrente fôsse um ataque ao ferro no compartimento catódico. Todos estes factos têm sido verificados em numerosas experiências.

Resta agora ver como o processo decorre num meio *ácido* e num meio *alcalino*.

Primeiro caso: Meio ácido — Antes de se falar do processo iónico, ficou dito que a corrosão do ferro era activada pela presença de ácidos e de misturas de ácidos e de sais. Consideremos, por exemplo, um pedaço de ferro mergulhado em água contendo ácido

([12]) The Corrosion of Iron and Steel — New-York.

sulfúrico. Segundo a eqüação II, teremos:

$$Fe \rightleftarrows Fe^{++} + 2\Theta \qquad a)$$

Doutro lado, a teoria da dissociação electrolítica permite escrever:

$$H_2O \rightleftarrows H^+ + OH^- \qquad b)$$

$$H_2SO_4 \rightleftarrows 2H^+ + SO_4^{=} \qquad c)$$

Combinamos *a*) e *c*): as cargas iguais em valor absoluto e de sinal contrário vão neutralizar-se para dar o resultado bem conhecido:

$$Fe + H_2SO_4 \rightleftarrows Fe^{++} + 2H^+ + 2\Theta +$$

$$+ SO_4^{=} \longrightarrow FeSO_4 + H_2\nearrow$$

$$FeSO_4 + 2H_2O \rightleftarrows Fe(OH)_2 + H_2SO_4$$

Façamos intervir a acção da corrente eléctrica: suponhamos como na fig. 6, o ánodo à esquerda e o cátodo à direita. Os iões H vão reconstituir o ácido sulfúrico, ao passo que os iões OH vão fixar-se sôbre a parte direita do pedaço de ferro, produzindo a ferrugem. O radical negativo do ácido não entra de modo nenhum no mecanismo da corrosão. Quanto mais iões H existirem, mais iões ferrosos haverá que passam em solução, ***amplificando dêste modo o ataque ao ferro.***

Examinemos agora o ***segundo caso:*** Meio alcalino — Num meio alcalino, a concentração dos iões H é mais fraca (pH > 7) do que num meio ácido (pH < 7), e o número de iões ferrosos que passam em solução é menor: ***a corrosão é reduzida.***

As nossas experiências mostram, pois, claramente que a acção corrosiva duma corrente sôbre o ferro é ***amplificada num meio ácido*** e diminuida num meio alcalino. Na medida que os nossos ensaios tenham permitido determinar quantitativamente o grau de corrosão das nossas amostras, podemos afirmar que o ataque é inversamente proporcional ao valor do pH do meio ambiente.

Parte experimental

Aparelhagem

Como fonte de tensão, baterias de acumuladores foram dispostas em série para que a diferença de potencial nos bornes fôsse de cêrca de 350 volts. Um dispositivo potenciométrico permitia ter à nossa disposição todas as tensões de 0 a 350 volts. Um voltímetro V (fig. 7) indicava, a todo o mo-

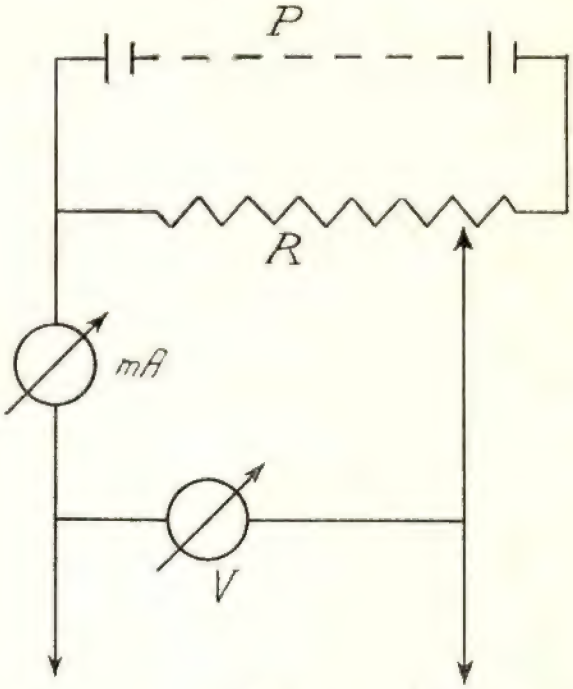


Fig. 7

mento, a diferença de potencial entre os bornes do potenciómetro, enquanto um miliamperómetro munido de shunts permitia verificar as intensidades de corrente. Estas intensidades não ultrapassavam nunca 20 mA, tendo nós trabalhado geralmente com uma intensidade constante de 5 mA. É indispensável a regulação por meio dum potenciómetro, porque a intensidade da corrente varia muito no decurso da experiência: em certos casos a corrente que, no comêço era de 20 mA, caía a 1 mA ao fim de 15 horas. Esta variação da intensidade provém da polarização dos electrodos e da libertação de gás, que é absorvido pela terra e aumenta sensìvelmente a resistência desta.

As experiências foram efectuadas em cuvas de cristalização de vidro de Jena, de 8 cm. de diâmetro e 3,5 cm. de altura. Intencionalmente escolhemos recipientes de pequeno diâmetro para não haver grande

distância entre os electrodos, que ficavam àcêrca de 8 cm. um do outro.

Os electrodos eram constituídos por placas metálicas de superfície de 5×3 cm. e de espessura de 1 a 2 mm. Utilizámos eléctrodos de cobre, de zinco e de ferro. Em cada uma das cuvas de cristalização, os dois electrodos eram dum mesmo metal.

Material utilizado

As amostras tinham a forma de paralelipípido ou de cilindro, sendo escolhida esta ou aquela forma conforme o género de ataque que desejávamos estudar. Os quatro esboços dados acima (fig. 8) mostram as posições adoptadas nos nossos ensaios. As amostras eram de ferro, ferro fundido e de aço. As variedades de terra que serviram para as nossas experiências foram em grande número: areia, saibro, lôdo, terra de origem calcárea, terra negra das turfeiras, argila, marga, pó de tejolo, etc. Antes de serem utilizados, estes materiais eram peneirados afim de fornecerem um meio tão homogéneo quanto possível.

Resultados e conclusões

As nossas experiências tinham por fim:

a) estudo da influência do terreno sôbre o ataque
b) influência do tamanho das partículas da terra sôbre o ataque
c) influência do pH do solo sôbre o ataque
d) influência do género do metal utilizado
e) estudo do estado físico anterior do metal sôbre o ataque
f) influência do tempo e da intensidade da corrente

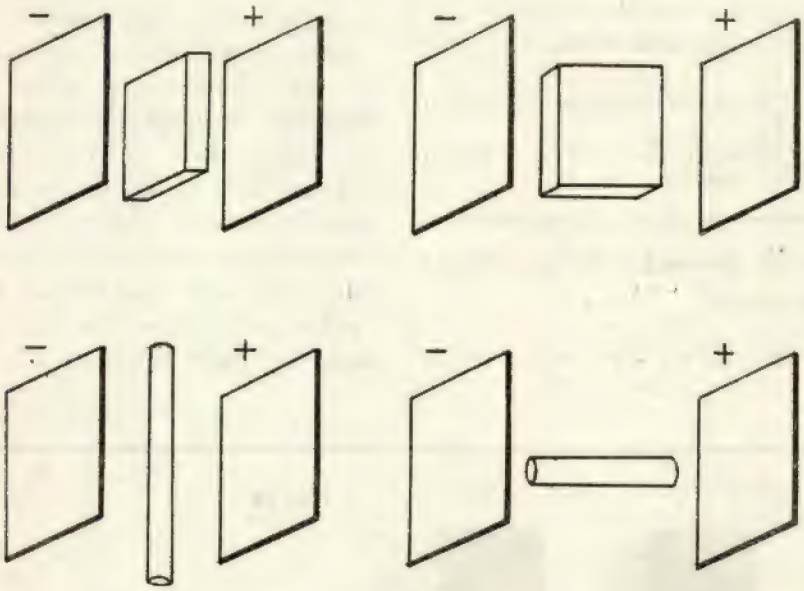


Fig. 8

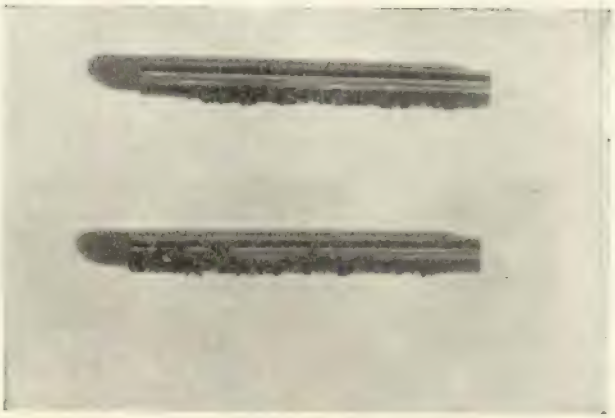


Fig. 9

a) *Estudo da influência do terreno sôbre o ataque*

Tipo de terra	Género de metal	Observações
Areia.....	Aço ...	Ataque vigoroso, com massa aderente (areia e ferrugem).
Areia.....	Ferro..	Mesmas observações.
Marga.....	Aço ...	Ataque, com ferrugem; pouca massa aderente.
Marga.....	Ferro..	Mesmas observações.
Argila.....	Aço ...	Depósito ferruginoso; ataque com pouca massa aderente.
Pó de tejolo.	Aço ...	Depósito poroso, com pouca ferrugem.
Terra negra (turfa)....	Ferro..	Ataque ligeiro; poucas picadas no metal.
Lôdo	Aço ...	Ataque com massa aderente.
Lôdo	Ferro..	Mesmas observações.
Terra calcárea.....	Aço ...	Depósitos com traços de ferrugem.
Terra calcárea.....	Ferro..	Picadas no metal com ligeiro depósito.

b) *Influência do tamanho das partículas de terra sôbre o ataque*

Fizemos uso sucessivo de areias cujos grãos eram de tamanhos diferentes. Quando ela era fina, a parte atacada apresentava-se sob a forma duma massa aderente pardacenta, que se destacava fàcilmente sob a acção dum jacto de água. Essa aderência era mais forte quando os grãos de areia eram mais grossos. Mas se êles ultrapassassem o diâmetro de 2 mm, o ataque fazia-se sob a forma de arranhaduras e a massa aderente era quási nenhuma.

c) *Influência do pH do solo sôbre o ataque*

Qualquer que seja a espécie de terra utilizada, o pH desempenha um papel muito importante na corrosão produzida sob a acção duma corrente subterrânea. Determinámos o pH por meio de indicadores. Tendo-o determinado antes da passagem da corrente, bastava juntar algumas gotas dum soluto de soda cáustica para o elevar a valores mais altos, ou gotas de ácido clorídrico querendo obter valores mais baixos. Em cada ensaio o pH foi mantido constante no decurso da experiência. As nossas observações permitem concluir que a alcalinidade do meio diminue o ataque, ao passo

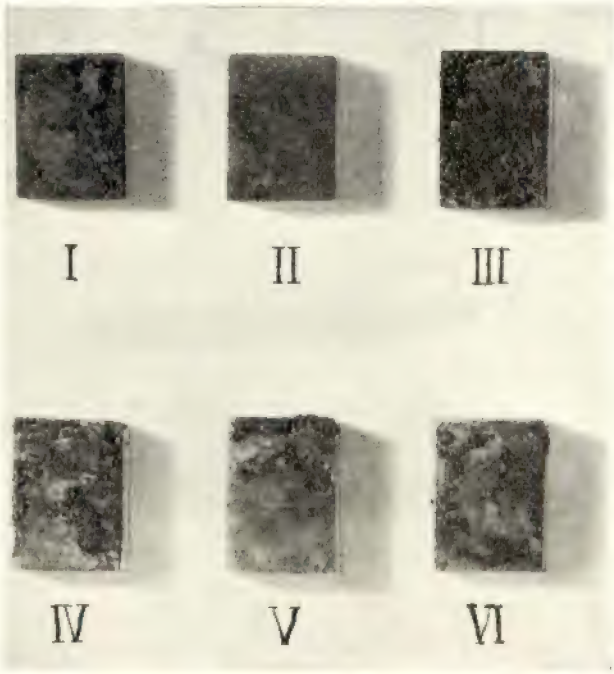


Fig. 10

Face olhando para o cátodo

I — Meio neutro (pH = 7)
II — » básico (pH = 11)
III — » ácido (pH = 6)
IV — » » (pH = 5)
V — » » (pH = 5)
VI — » » (pH = 4)

parcialmente imerso

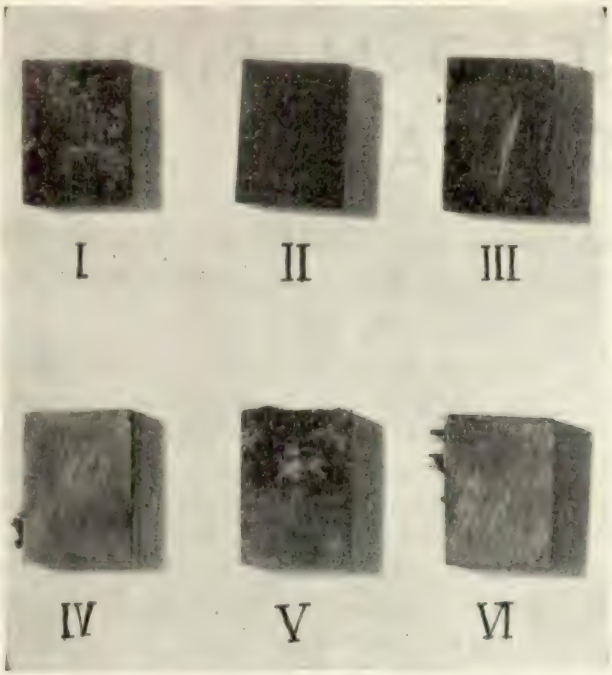


Fig. 11

Face olhando para o ánodo

I — Meio neutro (pH = 7)
II — » básico (pH = 11)
III — » ácido (pH = 5)
IV — » » (pH = 5) } parcialmente imerso
V — » » (pH = 5) } parcialmente imerso
VI — » » (pH = 4) } parcialmente imerso

que a acidez o aumenta, com relação a um meio neutro. Convém notar que é muito raro uma amostra de terra ter um pH = 7. A corrosão é intensa no caso de o pH ser inferior a 5, e o ferro quási que não é atacado quando o pH é superior a 11.

d) *Influência do género do metal utilizado*

Os ensaios não foram concludentes sôbre êste ponto. Em geral, todos os metais ferrosos sofreram, com quási nenhuma variação, os mesmos efeitos de corrosão.

e) *Influência dos estados físicos anteriores do metal sôbre o ataque*

Quando os pedaços de ferro fôssem aquecidos ao rubro e depois arrefecidos lentamente, o ataque fazia-se com mais violência. Êste último ressaltava melhor nos ensaios coloroscópicos. Do mesmo modo, se o ferro tivesse sido batido a martelo na forja, o ataque era mais intenso do que nos casos de amostras que não tinham sido assim tratadas.

f) *Influência do tempo e da intensidade da corrente eléctrica*

O ataque aumenta com a duração e com a intensidade da corrente. Quando as experiências, que normalmente duravam 100 horas com um débito de 5 a 10 mA, eram prolongadas durante algumas semanas, as amostras sofriam um ataque que as destruía. Era então difícil comparar os resultados obtidos.

Os resultados até aqui obtidos não nos parecem desprovidos de utilidade prática. É por isso que contamos prosseguir nas nossas investigações e estudar os fenómenos acima descritos sob o ponto de vista quantitativo (tanto quanto possível).

A NOVA ESTAÇÃO MARÍTIMA DE ALCÂNTARA

PELO ENG.º CIVIL (I. S. T.) TOMAZ DE SOUSA EIRÓ
Adjunto do Delegado da D. G. E. M. N. nas Obras das Estações Marítimas de Lisboa

Encontra-se concluída a Nova Estação Marítima de Alcântara — à qual dizem respeito as fotografias que se podem observar nas capas dos números 120, 123 e 136 da revista «Técnica» — grande edifício integrado no plano geral de urbanização dos terraplenos do pôrto de Lisboa e que permitirá o regular funcionamento dos serviços que lhe são próprios dentro dos mais modernos princípios de confôrto e de ordem.

Com esta construção acabam para sempre os espectáculos, até agora correntes, de guindastes e vagonetas carregadas a atropelarem quem assiste à chegada ou partida dos barcos, pois que as pessoas em tais condições tomarão lugar numa galeria situada a seis metros de altura, ao nível do primeiro andar da estação, ficando assim o cais inteiramente livre. É ainda por esta galeria (fig. 1), distanciada de dezóito metros do coroamento da muralha, que se fará o embarque e desembarque dos passageiros e da sua bagagem de cabine, para o que se utilizarão pontes montadas sôbre pórticos que, rolando paralelamente ao edifício, estabelecem a ligação com um dos «decks» superiores dos paquetes.

A existência da galeria de embarque e desembarque levou a instalar no primeiro andar e com ligação directa para ela os serviços alfandegários para a revisão das bagagens de cabine (fig. 2), o grande «hall» com as suas instalações anexas (fig. 3) — correios, turismo, câmbios, venda de tabacos, jornais e livros — a secção de venda de lembranças e o bar-restaurante. Encontram-se

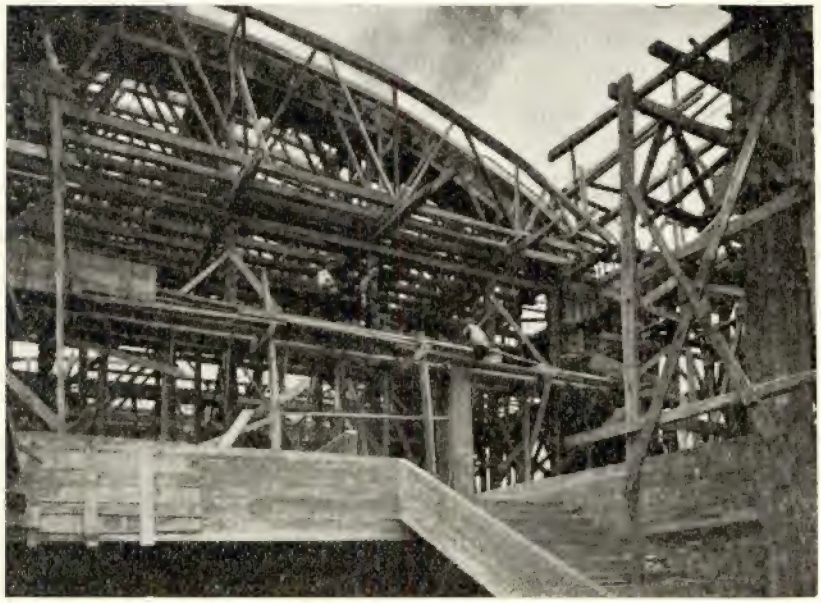


Fig. 5 — Preparação da cofragem para a abóbada

NOVA ESTAÇÃO MARÍTIMA DE ALCÂNTARA

Fig. 1 — Aspecto da galeria de embarque e desembarque

Fig. 2 — A grande sala da alfândega, no 1.º andar

Fig. 3 — O «hall» principal. As superfícies entre as pilastras aguardam as pinturas a fresco

Fig. 4 — O vestibulo de entrada

ainda neste piso instalações sanitárias para as primeiras classes, gabinetes dos chefes da estação e da secção aduaneira, secretaria da alfândega, o serviço de sanidade marítima e bem assim as dependências da terceira classe que compreendem, além do «hall» privativo, uma cantina, uma sala de espera e dois grupos de instalações sanitárias.

Os serviços que não necessitam de contacto directo com o grande público foram, por sua vez, alojados no rés-do-chão, onde se encontram, além da grande sala da alfândega destinada às bagagens de porão, as instalações privativas do pessoal de cais, as do pessoal aduaneiro, diversas salas para os serviços da Administração Geral do Pôrto de Lisboa, etc.

Para o caso de barcos de pequeno calado que acidentalmente tenham de atracar junto a êste edifício, em ocasiões de maré-baixa que lhes não permita estabelecer ligação com a galeria, existe no rês-do-chão um acesso directo ao cais assim como uma pequena sala de revisão de bagagens, evitando-se assim que os passageiros depois do seu desembarque sejam obrigados a subir ao primeiro andar da estação.

Excepção feita de uma pequena escada de serviço interno, a ligação entre os dois pisos da gare faz-se por duas amplas escadarias: uma privativa da terceira classe e a outra pondo em comunicação o grande «hall» com o vestíbulo de entrada. É neste vestíbulo de entrada (fig. 4) que, em escritórios apropriados, se encontram instalados os empregados das agências de navegação e de excursões e os das companhias dos caminhos de ferro, destinados a auxiliar os viajantes.

Para maior comodidade do público está o edifício dotado com um pequeno ascensor e ainda um monta-cargas para dois mil quilos que põe em comunicação directa a sala de alfândega do primeiro andar com a do rês-do-chão, o depósito de pequenas bagagens ou a rua.

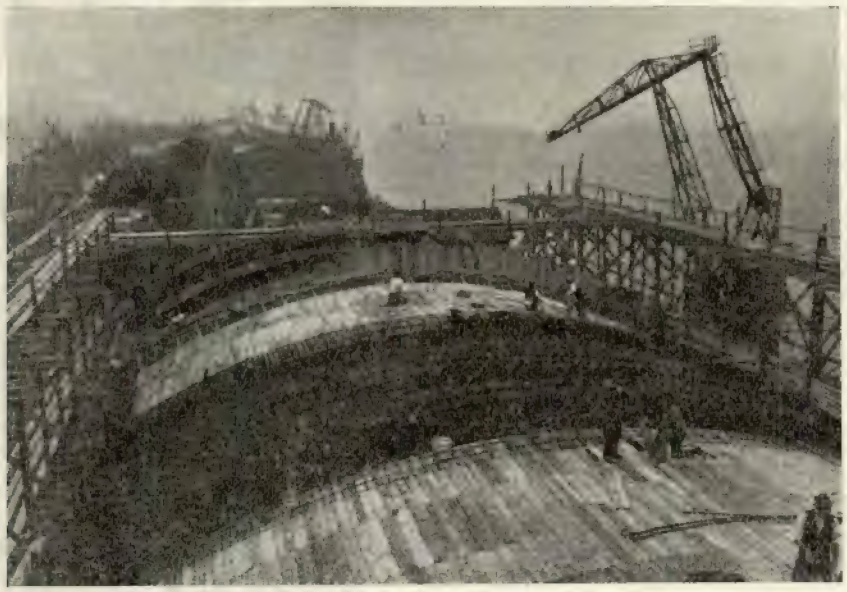


Fig. 6 — Um aspecto dos preparativos para a betonagem da abóbada

Fundações

Tratando-se dum muro-cais descontínuo, as acumulações naturais e artificiais que formam o terrapleno em que se construíu o edifício só se encontram retidas pelo prisma de enrocamentos; e como é impossível garantir que êste prisma já tenha atingido o seu estado de equilíbrio e que não venham a dar-se deslocamentos das pedras que permitam a saída de algumas terras, houve necessidade de fundar a construção sôbre a

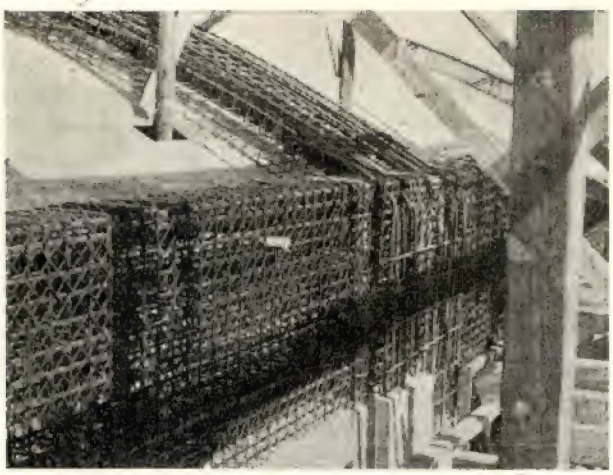


Fig. 7 — Um dos pórticos recebendo as vigas de apoio da abóbada

formação basáltica de Lisboa. Empregaram-se para isso 5.000 metros de estacas — moldadas no terreno pelo sistema «Franky» mas nas quais não foi admitida qualquer transmissão de carga por atrito lateral — que atingiram a formação basáltica entre 13,80 e 22,50 metros abaixo do nível do solo.

As estacas, em número de 31 de 600 milímetros de diâmetro (*) e de 268 de 406 milímetros de diâmetro (*) foram, conforme as cargas a fundar, reünidas aos grupos de duas a cinco por meio de sapatas calculadas pelos processos indicados no «Memento provisoire de controle des fondations» do «Bureau Securitas». Ligando tôdas estas sapatas entre si construiram-se vigas de travamento que foram aproveitadas para fundação das paredes de enchimento.

Superestrutura

A estrutura do edifício é inteiramente de betão armado, vindo tôdas as coberturas, pavimentos e lintéis descarregar sôbre os pilares, sendo assim as alvenarias apenas simples enchimentos. Tem particular interêsse esta estrutura por dela se ter tirado partido sob o ponto de vista arquitectónico, apresentando-se por isso à vista. Assim, por exemplo, quem estiver na sala da alfândega do primeiro andar (fig. 2) e observar a sua cobertura, fàcilmente reconhece que esta foi obtida por uma abóbada de betão armado fig. 5 e 6 — com dezóito metros de vão e dois metros e trinta de flecha — encastrada em grandes vigas de bordadura (fig. 7) que transmitem a sua impulsão a uma série de pórticos. Êstes pórticos (fig. 6 e 8) graças à disposição adoptada no vigamento do pavimento, têm as suas impulsões na base eliminadas pelas vigas que também lhes servem de tirantes e desta forma, abaixo do primeiro andar, já as colunas estão sujeitas exclusivamente à compressão simples.

Fig. 8 — A armadura da coluna de um dos pórticos

(*) Dimensão exterior dos tubos utilizados.

A parte da estrutura que mais interêsse disperta é, sem dúvida, a da cobertura do grande «hall».

O grande «hall» (fig. 3), de 18,20 por 18,20 metros e com quinze metros de pé direito, encontra-se coberto por uma cúpula de betão armado de seis centímetros de espessura e isto graças a uma engenhosa concepção que, tirando partido das duas sancas — de ventilação e de iluminação — conseguiu que a cúpula só tivesse doze metros e meio de vão (fig. 9). Assim, foi esta delgada lage cintada por uma viga circular (fig. 10) que se apoia, em quatro pontos diametralmente opostos, sôbre umas grandes vigas em forma de L invertido, que alojam a sanca de ventilação. Estas vigas (fig. 11), com dois metros por dois metros e vencendo um vão de quinze metros vão descarregar sôbre quatro outras vigas, estas em forma de U invertido, dentro das quais se encontra instalada a sanca de iluminação. Dão apoio a esta última série de

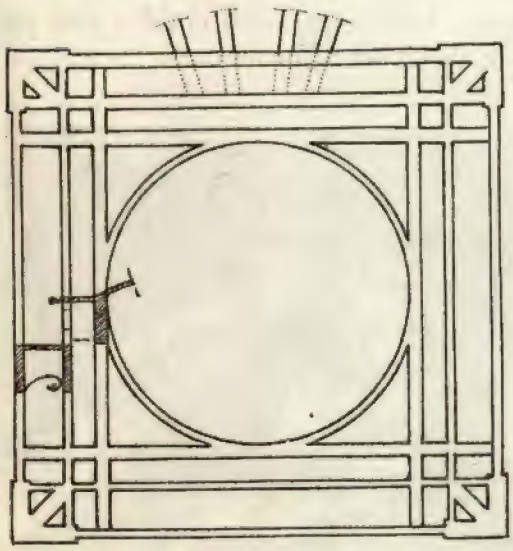


Fig. 9 — Esquema da estrutura de suporte da cúpula

vigas quatro grandes pilares em forma de L, graças aos quais, com um vão real de quinze metros, se vencem 18,20 metros. Houve o cuidado, a fim de respeitar as hipóteses de cálculo que admitiam as duas pernas do U em iguais condições, de não apoiar as pernas exteriores nos pilares intermédios e de fazer com que as interiores tivessem também quinze metros de vão, o que se conseguiu com a construção de consolas no plano bissector do ângulo diedro dos pilares, as quais ficaram escondidas pela sanca de iluminação.

Transversalmente encontra-se o edifício cortado de alto a baixo por várias juntas de dilatação espaçadas de menos de vinte e sete metros. Estas juntas, cuidadosamente estudadas e executadas, impuzeram a utilização de certos dispositivos mais ou menos curiosos como, por exemplo, os pratos e meios pratos de ferro laminado (fig. 12) empregados com o fim de dispensarem a construção de pilares gémeos nas juntas de dilatação, o que acarretaria maior dimensão dêstes e portanto menor elegância.

Impermeabilizações e isolamentos acústico e térmico

Na maior parte do edifício, coberto por superfícies curvas que até certo ponto se deviam considerar como fazendo parte das fachadas, não era possível recorrer a qualquer espécie de impermeabilização que não fôsse a do próprio betão. Para êste efeito, além de se ter empregado uma dosagem em cimento de trezentos e cinqüenta quilos por metro cúbico de betão em obra, a que se adicionou diatomite em quantidade igual a cinco por cento do pêso de cimento, houve também o cuidado de se fazer o estudo granulométrico dos materiais inertes de forma a corrigi-los e doseá-los o melhor possível. Empregaram-se assim na dosagem cinco calibres diferentes de materiais inertes — murraça, granito, areia britada, areia do Alfeite e diatomite. O êxito alcançado com êste estudo granulométrico está comprovado pois já decorreram vinte e nove meses depois da betonagem da cúpula de seis centímetros de espessura sem que nela tivesse aparecido qualquer pequena infiltração.

Na abóbada, por se tratar dum grande volume, houve a necessidade de criar juntas de betonagem que, apesar de todos os cuidados a elas dispensados, deram os únicos

pontos de infiltração em tôda a construção, mas mesmo estes já estão pràticamente destruidos.

A adição de diatomite ao betão contribuiu também bastante para o bom aspecto que se conseguiu dar às superfícies curvas, que ainda hoje figuram sem qualquer revestimento.

Fig. 10 — Montagem das espiras na viga circular da cúpula

Tôdas as restantes coberturas, por serem planas, levaram uma impermeabilização «Rok», apesar de betonadas em condições idênticas às atrás descritas e de terem estado por vezes alagadas sem acusarem infiltrações.

Entre as lages que servem de pavimento e os seus revestimentos interpôs-se uma camada de jôrra argamassada com cimento (traço 6 : 1) e com cêrca de seis centímetros de espessura, a qual, além de facilitar bastante a instalação de tubagens — como, por exemplo, as de alimentação dos pontos luminosos do piso inferior — deu por pouco dinheiro e com pequeno pêso um isolamento que evita bastante a vibração da lage provocada pelo movimento do público nesse pavimento.

Ainda com o fim de atenuar as desagradáveis ressonâncias das construções de betão armado, tôdas as lages foram betonadas sôbre uma camada de aglomerado de cortiça com polegada e meia de espessura, a qual, nas coberturas, deu ainda certa vantagem no que respeita a isolamento térmico.

Acabamentos

À parte o sóco de cantaria que rodeia o edifício, tôdas as superfícies exteriores, num total de 6.300 metros quadrados, foram rebocadas a argamassa de cimento e areia (1 : 4) e revestidas com produto «Simile», ísto é, com uma argamassa especial de cimento branco contendo certa percentagem de sarrisca e uma substância colorante.

Interiormente, quási tôdas as paredes e tectos foram guarnecidos a massa de areia que, nas divisões em contacto com o público, foi pintada à pistola com tinta «Matroil». As dependências principais foram ainda valorizadas com mármores em revestimento de pilastras e algumas serão decoradas com pinturas a fresco. As escadas de serviço, assim como corredores e instalações sanitárias, têm as paredes revestidas a azulejos.

Nos pavimentos, e consoante o fim e importância do local, foram empregados mármores, mosaicos cerâmicos, madeiras de macacaúba e sicupira, marmorite e betonilha.

Pelos bons resultados obtidos tem particular interêsse a forma como foi executada

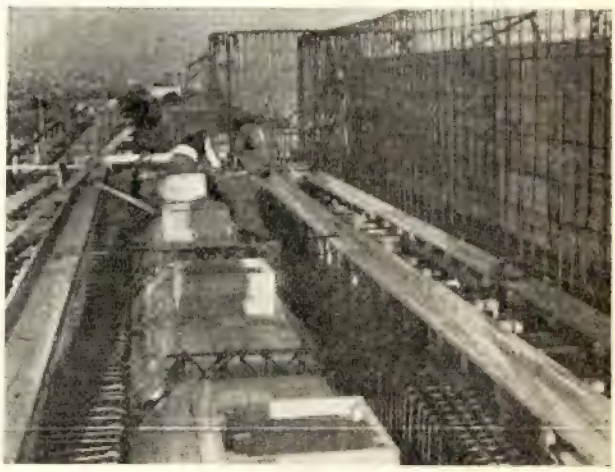


Fig. 11 — Armaduras das vigas L e U, observando-se os septos que ligam as duas pernas do U, e os poços de visita à sanca de iluminação

a betonilha de 556 metros quadrados que pavimenta a sala da alfândega da bagagem de porão.

Depois de preparado convenientemente o

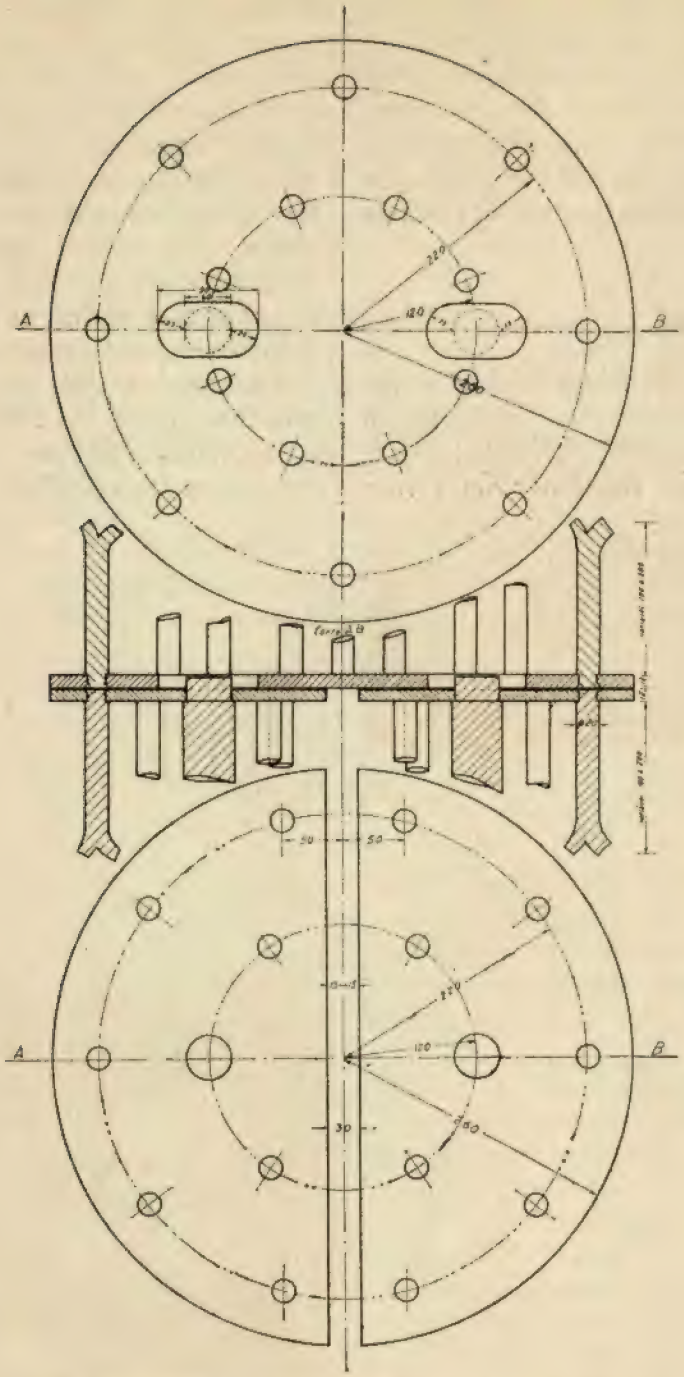


Fig. 12 — Detalhe dos pratos de ferro laminado empregados nas colunas da galeria que coincidem com as juntas de dilatação

terreno, cobriu-se êste com uma armadura de ferro de um quarto de polegada de diâmetro, formando malha quadrada de doze centímetros de lado, e com ela a meia altura foram betonados painéis de $2^m,00 \times 2^m,25 \times \times 0^m,15$; para isso empregou-se betão com o traço 1 : 3 : 6 cujo acabamento superior, em cêrca de três centímetros de espessura, foi feito no mesmo dia com o emprêgo de betonilha (1 : 2) muito bem apertada e afagada à colher. Obteve-se assim uma série de painéis isolados entre os quais se beto-

naram os restantes que, à parte a armadura que é contínua, ficaram separados uns dos outros pela interposição duma delgada fôlha de fêltro alcatroado. Desta forma conseguiu-se um pavimento barato, com bom aspecto e muito rijo, sem se ter observado qualquer fenda nem levantamento dos cantos dos painéis.

* * *

A Nova Estação Marítima de Alcântara, com a Nova Estação Marítima da Rocha do Conde de Óbidos — esta ainda em construção mas devendo funcionar de forma idêntica à primeira — solucionam lògicamente o problema das Estações Marítimas de Lisboa. De facto, apresentando-se neste local duas zonas de muros-cais de grandes fundos separadas por cêrca de um quilómetro de fundos menores, criaram-se edifícios centralizadores do movimento de passageiros nos dois locais que permitem a atracação dos grandes paquetes transatlânticos; e para ambos os edifícios, cuja capacidade de utilização depende da extensão das respectivas galerias, previu-se o prolongamento destas de forma a tornar possível a ligação simultânea de três paquetes com cada uma das estações.

BOMBAS CENTRÍFUGAS

POR ACÁCIO PEREIRA AMARO

(Do Curso de Engenharia Mecânica)

O que a seguir expomos, não tem outro mérito que não seja a novidade do assunto, na nossa Escola.

Na exposição da marcha de cálculo, seguimos a orientação dada por L. Quantz no seu livro «Bombas centrífugas». Apresentamos seguidamente o cálculo e projecto duma bomba de alta pressão, para alimentação duma caldeira.

1) — *Noções gerais sôbre o funcionamento.*

As bombas centrífugas, como o seu nome indica, aproveitam a fôrça centrífuga do movimento de rotação, para obter o trabalho necessário para a elevação da água, ou doutro líquido qualquer.

No interior do corpo de bomba, fig. 1, gira uma roda hidráulica a grande velocidade; a água situada entre as suas pás é arrastada, sendo-lhe transmitida uma fôrça centrífuga que a impulsiona contra as paredes do corpo da bomba, até à tubeira de pressão, criando-se simultâneamente uma depressão na tubeira de aspiração. É assim aspirada certa quantidade de água; como esta aspiração é contínua, temos também uma elevação contínua.

A aspiração produz-se devido ao facto da existência da pressão atmosférica; uma vez criada a depressão na tubeira de aspiração, a pressão atmosférica obriga a água a subir. Como uma atmosfera corresponde a $10{,}33^m$ de coluna de água, será esta a altura máxima teórica de aspiração. Porém, devido às resistencias hidráulicas, e à perda que se produz para dar lugar à energia cinética que a água necessita para se deslocar, a altura prática de aspiração não vai além de $H_a = 8$ m, tomando êste valor para construção cuidada.

Um dos principais inconvenientes destas bombas é a impossibilidade de normalmente arrancarem a sêco, isto é, quando o corpo da bomba e a tubeira de aspiração não estejam cheios de água.

Há, porém, disposições especiais que permitem arrancar a sêco, aparecendo assim as chamadas bombas centrífugas de aspiração automática. Uma destas disposições consiste em pôr em comunicação a câmara de aspiração da bomba com uma bomba especial de aspiração de ar. Esta segunda bomba move-se comandada pelo veio principal. No momento de arranque, corta-se a comunicação da câmara de aspiração com a tubeira de pressão, e estabelece-se assim uma depressão suficiente para efectuar o arranque da bomba.

Com as bombas centrífugas também está limitada a altura de impulsão. Geralmente pode contar-se com uma altura de impulsão H_p, até 100 m, por andar, isto é, por cada roda empregada. Evidentemente que esta altura dependerá de muitos factores, como seja número e forma das pás, diâmetro da roda e muito principalmente da velocidade desta. As bombas centrífugas podem classificar-se segundo a altura de impulsão, e então temos bombas de baixa pressão para H_p até ~ 15 m, de média pressão até ~ 40 m e de alta pressão para além dêste valor. Ainda segundo o número de rodas chavetadas no mesmo veio, podem ser de um ou vários andares, empregando-se estas últimas para elevações a grandes alturas. Para a elevação de grandes caudais, podem-se prever várias rodas em paralelo. Ainda a aspiração se pode efectuar por um ou pelos dois lados da roda, figs. 1 e 2, e podem as bombas ser ainda de eixo vertical ou horizontal, e sem ou com roda directriz, figs. 2 e 3. Nas bombas

sem directriz, a roda encontra-se dentro de uma câmara de pressão chamada difusor.

A forma da pá e o seu número, são condi-

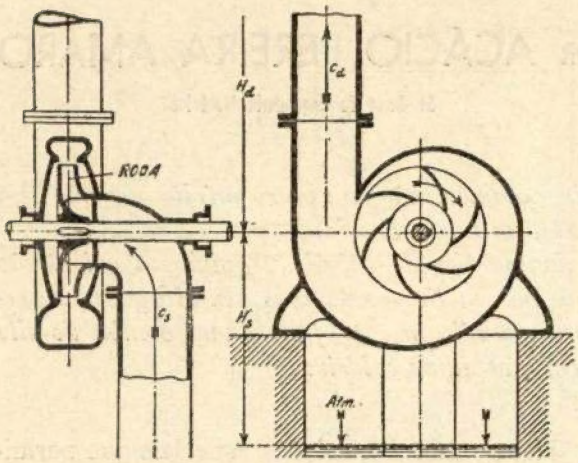


Fig. 1

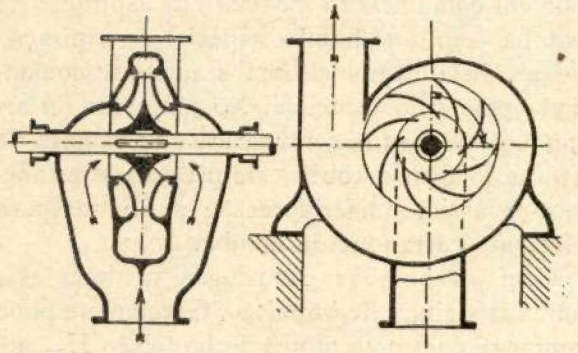


Fig. 2

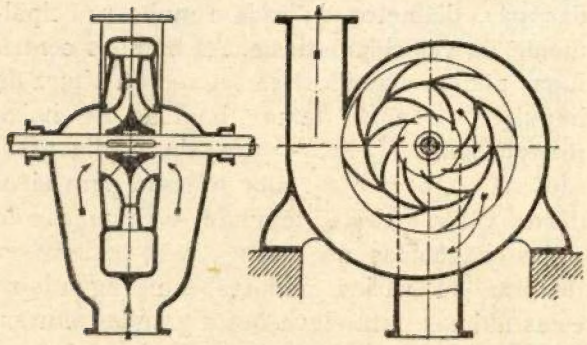


Fig. 3

cionados pelo regime de trabalho da bomba; as bombas centrífugas de alta pressão constroiem-se geralmente de vários andares; conforme a altura de impulsão, assim fazemos variar o seu número, podendo-se chegar a 10 (1). Aqui, a entrada faz-se por um só lado. Na fig. 4

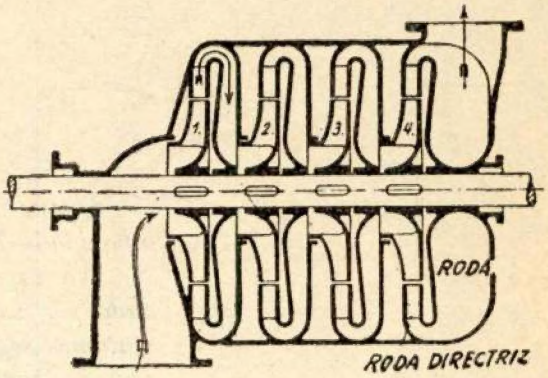


Fig. 4

está representada uma destas bombas, que é tambem o tipo do exemplo adiante calculado.

2) — *Cálculo das bombas e traçado das pás.*

I — *Movimento da água dentro da bomba.*

Para estudar o movimento da água dentro de uma bomba, tem de se tomar em consideção a *velocidade relativa* que será aquela que um observador regista se for solidário com o movimento da roda, a *velocidade de transporte,* que será a velocidade resultante do mesmo movimento, e a *velocidade absoluta,* que sabemos da mecânica ser igual à soma vectorial das outras duas. Designaremos por w a velocidade relativa, u a velocidade de transporte e c a velocidade absoluta. Desde já e de uma vez para sempre fica assente que todos os elementos referentes a um ponto situado antes da entrada da roda será afectado do índice zero; um ponto situado à entrada, índice um; à saída, índice dois; os elementos de um ponto posterior à saída da roda são afectados pelo índice três. Ainda, os ângulos formados por c e u e por w e o sentido negativo de u, serão representados respectivamente por α e β. As componentes tangencial e radial da velocidade absoluta serão respectivamente c. cos $\alpha = c_n$ e c. sen $\alpha = c_m$.

(1) Já se constróiem bombas com 20 andares, funcionando a 3000 rot/m, para uma elevação de 2000 m, com um rendimento de 80 %.

Considerando a marcha normal da bomba, notaremos que a água entra na roda axialmente, pela sua parte central de diâmetro D_o, com velocidade absoluta c_o.

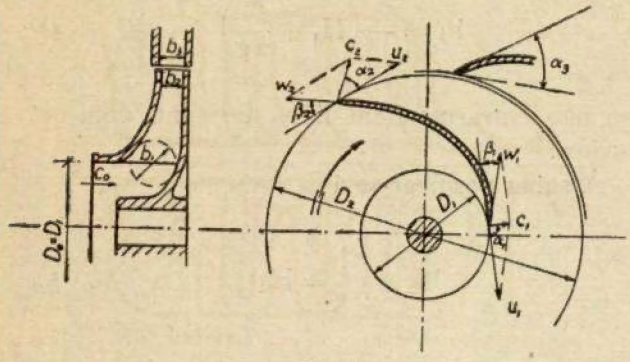


Fig. 5

A água em seguida sofre uma mudança de direcção, passando o seu caminho a ser radial; aqui possue a velocidade absoluta c_1.

Em construção normal, o diâmetro D_1 da circunferência em que existem os pontos de entrada das pás, faz-se igual a D_o. E temos então a velocidade de transporte u_1, que não é mais que a velocidade tangencial dos referidos pontos.

A velocidade c_1 divide-se em duas componentes, das quais uma é u_1 e a outra w_1, que é a velocidade relativa de entrada. Para que a água penetre sem choque nas câmaras que as pás formam, é evidente que é necessário dar a estas, à entrada, a direcção de w_1, direcção que é definida pelo ângulo β_1, tirado do paralelogramo das velocidades.

Em conseqüência da variação da secção da veia líquida, e da curvatura da pá, temos à saída a velocidade relativa w_2, dirigida segundo o ângulo β_2. Compondo w_2 com u_2, velocidade periférica da roda, obtemos c_2; é segundo a sua direcção que a água deixa a roda. Se a bomba é provida de roda directriz, daremos às pás directrizes uma inclinação aproximada à de c_2.

II — *Equação fundamental das bombas centrífugas.*

Sabe-se da hidráulica, que nas condições da fig. 6, se verifica

$$h = \frac{v_1^2}{2g} + h_1 = \frac{v_2^2}{2g} + h_2 = \frac{v^2}{2g}$$

Isto é, a altura estática h. é igual à soma da altura piezométrica, e da altura correspondente

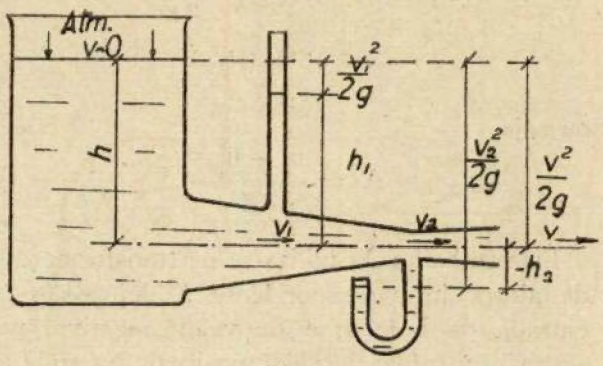


Fig. 6

à velocidade. Por outras palavras diremos que da energia potencial armazenada no recipiente. uma parte foi utilizada para se obter a energia cinética $\frac{v_1^2}{2g}$, e outra permaneceu sob a forma potencial h_1, e que poderá ser positiva ou negativa.

Como já se disse, o trabalho necessário para elevar a água, é obtido por meio da fôrça centrífuga que se desenvolve pelo movimento da roda, esta fôrça centrífuga é dada por

$$C = m\,\omega^2\,r$$

em que as letras têm o significado de todos conhecido.

Como nos referimos sempre à unidade de pêso, isto é, 1 kg de água, temos $m = \frac{1}{g}$, e obtemos o valor médio da fôrça centrífuga utilizando o raio médio.

$$r = \frac{R_1 + R_2}{2}$$

sendo, fig. 5

$$R_1 = \frac{D_1}{2} \quad \text{e} \quad R_2 = \frac{D_2}{2}$$

logo

$$C = \frac{R_1 + R_2}{2} \cdot \frac{\omega^2}{g}$$